

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Měření a vyhodnocení veřejného osvětlení
Measurement and Evaluation of Public Lighting

2020

Marek Kyselý

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Marek Kyselý**
Studijní program: B0713A060005 Elektroenergetika
Téma: **Měření a vyhodnocení veřejného osvětlení**
Measurement and Evaluation of Public Lighting
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- Základy světelné techniky v souvislosti s veřejným osvětlením
- Světelné zdroje a svítidla používané ve veřejném osvětlení
- Rozbor norem pro veřejné osvětlení
- Možnosti změny třídy komunikace na základě změny hustoty provozu
- Měření a nastavení světelně-technických parametrů na komunikaci v souvislosti s odezvou kamerového systému

Seznam doporučené odborné literatury:

Literatura:


- [1] Sokanský, K.: Světelná technika. ČVUT, Praha 2011
- [2] Habel, J.: Světlo a osvětlování. FCC Public, Praha 2013
- [3] Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, Sborníky VŠB-TU
- [4] Manuály k výpočetním programům (Relux, Dialux, WILS)

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Tomáš Novák, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry





prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: *15. května 2020*


.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval panu doc. Ing. Tomášovi Novákovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultace při vytváření této bakalářské práce. Rovněž bych chtěl poděkovat rodině, která mě během doby studia podporovala.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou měření a vyhodnocením veřejného osvětlení. V teoretické části pojednává o vzniku světla a jeho fyzikálních vlastnostech. Dále se zabývá základními světelně-technickými veličinami v oboru světelné techniky. Jsou zde popsány základní nejvyužívanější zdroje světla pro VO, základní parametry a stavba svítidel. Popsány jsou zde normativní požadavky pro osvětlovací soustavy, jako je výběr třídy osvětlení na základě provozu komunikace, požadavky na třídu osvětlení, a metody měření. V praktické části se práce zabývá měřením světelně-technických parametrů na polygonu VŠB-TUO, za účelem zjištění odezvy kamerového systému na jednotlivě měnící se jasy.

Klíčová slova

Veřejné osvětlení; světelné zdroje; světlo; svítidla; normativní požadavky; výběr třídy; měření; jas; osvětlenost; odezva kamerového systému

Abstract

This bachelor thesis deals with the issue of measurement and evaluation of public lighting. The theoretical part deals with the origin of light and its physical properties. It also deals with basic lighting technical quantities in the field of lighting technology. The basic most used light sources for the PL, basic parameters and the construction of luminaires are described here. Normative requirements for lighting systems are described here, such as the selection of lighting classes based on road traffic, lighting class requirements and measurement methods. The practical part works with the measurement of lighting data on the VŠB-TUO polygon, in order to determine the response of the camera system to individually changing brightness.

Key words

Public lighting; light sources; light; lamps; normative requirements; class selection; measurement; brightness; lighting; camera system response

Obsah

Seznam použitých symbolů.....	- 9 -
Seznam použitých zkratk.....	- 10 -
Seznam ilustrací	- 11 -
Seznam tabulek	- 12 -
Úvod.....	- 13 -
1 Světlo	- 14 -
2 Světelné technické veličiny	- 15 -
2.1 Světelný tok.....	- 15 -
2.2 Svítivost.....	- 16 -
2.3 Osvětlenost.....	- 16 -
2.4 Jas.....	- 17 -
2.5 Prostorový úhel	- 18 -
2.6 Měrný světelný výkon.....	- 19 -
2.7 Náhradní teplota chromatičnosti	- 19 -
2.8 Index podání barev	- 20 -
2.9 Životnost světelného zdroje	- 20 -
3 Světelné zdroje veřejného osvětlení	- 21 -
3.1 Výbojové zdroje	- 21 -
3.1.1 Nízkotlaké sodíkové výbojky	- 21 -
3.1.2 Zářivky	- 21 -
3.1.3 Indukční výbojky.....	- 22 -
3.1.4 Vysokotlaké sodíkové výbojky	- 23 -
3.1.5 Halogenidové výbojky	- 23 -
3.2 Elektro-luminiscenční zdroje	- 24 -
3.2.1 LED	- 24 -
3.2.2 Regulace LED	- 26 -
4 Svítidla veřejného osvětlení	- 27 -
4.1 Parametry svítidel.....	- 27 -
4.2 Třídy svítidel	- 29 -
4.3 Skladba svítidel	- 30 -
4.3.1 Světelné optické prvky	- 30 -
4.3.2 Elektrotechnické prvky	- 32 -
4.3.3 Konstrukční prvky.....	- 33 -
5 Normativní požadavky VO	- 34 -

5.1	Výběr třídy osvětlení komunikací na základě hustoty provozu	- 34 -
5.2	Požadavky na osvětlení komunikací	- 36 -
5.3	Metody měření	- 39 -
5.3.1	Měření osvětlenosti	- 39 -
5.3.2	Měření jasu.....	- 41 -
6	Měření světelně-technických parametrů v souvislosti s odezvou kamerového systému	- 43 -
6.1	Vyhodnocení závislostí měřených veličin na úrovni příkonu	- 47 -
6.2	Vyhodnocení závislostí měřených veličin na odezvě kamerového systému.....	- 52 -
	Závěr	- 56 -
	Použitá literatura	- 58 -

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
A	(m ²)	Plocha
D	(m)	Rozteč mezi body
E	(lx)	Osvětlenost
\bar{E}	(lx)	Průměrná osvětlenost
E _{min}	(lx)	Minimální osvětlenost
E _{v,min}	(lx)	Minimální svislá osvětlenost
E _{sc,min}	(lx)	Minimální poloválcová osvětlenost
I	(A)	Elektrický proud
I	(cd)	Svítivost
L	(cd·m ⁻²)	Jas
N	(-)	Počet kontrolních bodů
P	(W)	Elektrický příkon
Q ₀	(cd·m ⁻² ·lx ⁻¹)	Světlost povrchu vozovky
R _a	(-)	Index podání barev
S	(m)	Rozteč svítidel
T _C	(K)	Teplota chromatičnosti
U ₀	(-)	Celková rovnoměrnost
U _I	(-)	Podélná rovnoměrnost
V(λ)		Poměrná světelná účinnost
W _r	(m)	Šířka komunikace
f _{TI}	(-)	Prahový přírůstek
l	(m)	Vzdálenost
r	(m)	Poloměr
β	(°)	Úhel dopadajícího paprsku
δ	(°)	Úhel clonění
η	(W)	Měrný výkon
λ	(nm)	Vlnová délka
Φ	(lm)	Světelný tok
Ω	(sr)	Prostorový úhel

Seznam použitých zkratk

Zkratka	Význam
CIE	Mezinárodní komise pro osvětlování
ČSN	Česká technická norma
DALI	Digital addressable Lighting Interface (Digitální světelné rozhraní)
EN	Evropská norma
IK	Mechanická odolnost (Stupeň krytí)
IP	Ingress protection (Stupeň krytí)
LED	Light emitting diode (Světelná diode)
PMMA	Polymethylmethakrylát
PWM	Pulse width modulation (Pulzně šířková modulace)
SI	Le Systéme International d'Unités (Mezinárodní systém jednotek)
UV	Ultraviolet (Ultrafialové záření)
VO	Veřejné osvětlení

Seznam ilustrací

<i>Obr 1.1: Rozložení barev ve spektrální oblasti viditelného záření. [3]</i>	- 14 -
<i>Obr 2.1: Osvětlenost. [3]</i>	- 16 -
<i>Obr 2.2: Osvětlenost bodového zdroje. [3]</i>	- 17 -
<i>Obr 2.3: Definice jasu. [3]</i>	- 18 -
<i>Obr 2.4: Vztah mezi světelně technickými veličinami. [25]</i>	- 18 -
<i>Obr 2.5: Vymezení prostorového úhlu. [3]</i>	- 19 -
<i>Obr 2.6: Teplota chromatičnosti. [3]</i>	- 19 -
<i>Obr 2.7: Znázornění vnímání barev lidským okem pod vyzařovaným světlem dle hodnoty R_a. [24]</i>	- 20 -
<i>Obr. 3.1: Nízkotlaká sodíková výbojka a spektrum jejího vyzařování. [3]</i>	- 21 -
<i>Obr 3.2: Kompaktní zářivka OSRAM. [7]</i>	- 22 -
<i>Obr 3.3: Indukční výbojka OSRAM Endura s cívkami po obvodu. [3]</i>	- 22 -
<i>Obr 3.4: Vysokotlaká sodíková výbojka a spektrum jejího vyzařování. [3]</i>	- 23 -
<i>Obr 3.5: Halogenidová výbojka a spektrum jejího vyzařování. [3]</i>	- 24 -
<i>Obr 3.6: Příklad LED čipu a spektrum jeho vyzařování. [27]</i>	- 25 -
<i>Obr 3.7: VA charakteristiky LED diody v propustném směru. [12]</i>	- 25 -
<i>Obr 3.8: Pulzně šířková modulace. [11]</i>	- 26 -
<i>Obr 4.1: Příklad křivek svítivosti svítidla veřejného osvětlení. [17]</i>	- 28 -
<i>Obr 4.2: Úhel clonění svítidel. [3]</i>	- 28 -
<i>Obr 4.3: Svítidlo veřejného osvětlení firmy Artechnic – Schréder s krytím IP66. [15]</i>	- 29 -
<i>Obr 4.4: Reflektor na svítidlu osazeným LED modulem. [28]</i>	- 30 -
<i>Obr 4.5: Refraktor na svítidlu Autobahn LED Cobra Head. [26]</i>	- 30 -
<i>Obr 4.6: Optická čočka s fotometrickou plochou svítivosti pro VO. [17]</i>	- 31 -
<i>Obr 4.7: Ploché sklo jako difuzor na svítidlu ATHINA. [21]</i>	- 31 -
<i>Obr 4.8: Elektronický předřadník. [16]</i>	- 32 -
<i>Obr 4.9: Zdroj pro napájení LED diod, svítidlo Artechnic – Schréder Skido. [15]</i>	- 32 -
<i>Obr 5.1: Digitální luxmetr – Radiolux111. [22]</i>	- 39 -
<i>Obr 5.2: Kontrolní body v měřícím poli. [3]</i>	- 40 -
<i>Obr 5.3: Jasoměr – Minolta LS -110. [23]</i>	- 41 -
<i>Obr 5.4: Kontrolní body v měřícím poli. [3]</i>	- 42 -
<i>Obr 6.1: Zaznačení měřeného úseku, a kamer ho snímajících.</i>	- 43 -
<i>Obr 6.2: Měřený úsek z pohledu kamery č.1.</i>	- 44 -
<i>Obr 6.3: Snímek jasové analýzy měřeného úseku při 100 % úrovni příkonu svítidel.</i>	- 46 -
<i>Obr 6.4: Snímek jasové analýzy měřeného úseku při 70 % úrovni příkonu svítidel.</i>	- 46 -
<i>Obr 6.5: Graf závislosti jasu na úrovni příkonu svítidel.</i>	- 47 -
<i>Obr 6.6: Graf závislosti jasu na úrovni příkonu svítidel.</i>	- 48 -
<i>Obr 6.7: Graf závislosti osvětlenosti na úrovni příkonu svítidel.</i>	- 49 -
<i>Obr 6.8: Oblast vyhodnocení vybuzení kamery č.2, označena číslem 1.</i>	- 50 -
<i>Obr 6.9: Graf závislosti výstupu z kamery na úrovni příkonu svítidel.</i>	- 51 -
<i>Obr 6.10: Graf závislosti jasu na odezvě kamerového systému.</i>	- 52 -
<i>Obr 6.11: Graf závislosti jasu na odezvě kamerového systému.</i>	- 53 -
<i>Obr 6.12: Graf závislosti osvětlenosti na odezvě kamerového systému.</i>	- 54 -

Seznam tabulek

<i>Tab. 1.1: Jednotlivé barevné tóny viditelného světla. [3]</i>	- 14 -
<i>Tab. 4.1: Rozdělení svítidel podle rozložení světelného toku. [8]</i>	- 27 -
<i>Tab. 5.1: Parametry pro výběr třídy osvětlení M. [19]</i>	- 35 -
<i>Tab. 5.2: Ekvivalentní třídy osvětlení M a C pro různé hodnoty Q_0. [19]</i>	- 36 -
<i>Tab. 5.3: Požadavky pro třídu osvětlení M. [20]</i>	- 37 -
<i>Tab. 5.4: Požadavky pro třídu osvětlení C. [20]</i>	- 38 -
<i>Tab. 5.5: Požadavky pro třídu osvětlení P. [20]</i>	- 38 -
<i>Tab. 6.1: Tabulka použitých měřících přístrojů</i>	- 44 -
<i>Tab. 6.2: Měřené svítidla a zdroje</i>	- 45 -
<i>Tab. 6.3: Tabulka naměřených a vyhodnocených hodnot</i>	- 45 -
<i>Tab. 6.4: Tabulka hodnot jasu dle jasové analýzy při dané úrovni příkonu svítidel.</i>	- 47 -
<i>Tab. 6.5: Tabulka hodnot jasu dle jasoměru Minolta LS – 110 při dané úrovni příkonu svítidel.</i>	- 48 -
<i>Tab. 6.6: Tabulka hodnot osvětlenosti dle Radiolux 111 při dané úrovni příkonu svítidel.</i>	- 49 -
<i>Tab. 6.7: Tabulka hodnot vybuzení kamery v oblasti 1 při dané úrovni příkonu svítidel.</i>	- 50 -
<i>Tab. 6.8: Tabulka hodnot jasu dle jasové analýzy při daném vybuzení kamery.</i>	- 52 -
<i>Tab. 6.9: Tabulka jasu dle jasoměru Minolta LS – 110 při daném vybuzení kamery</i>	- 53 -
<i>Tab. 6.10: Tabulka osvětlenosti dle Radiolux 111 při daném vybuzení kamery.</i>	- 54 -

Úvod

Veřejné osvětlení (VO) je soubor osvětlovacích soustav, které vytváří v prostoru světelné prostředí, a hraje v dnešní civilizované, a technicky pokročilé době velice významnou roli. Umožňuje osvětlení komunikací a veřejného prostranství (měst, obcí, silnic, dálnic, přechodů pro chodce, městských parků, parkovišť, sportovišť), či významných objektů jako jsou architektonické památky. Veřejné osvětlení ovlivňuje každodenní život všech lidí, ať už jsou to řidiči, kde zvyšuje bezpečnost silničního provozu, nebo obyvatelé, kterým poskytuje světlo, a tím i větší pocit bezpečí a jistoty v době noční tmy.

Na návrh a realizaci veřejného osvětlení je v dnešní době kladen velký důraz, neboť musí poskytovat dostatečnou osvětlenost pro dobrou viditelnost. Na druhou stranu musí být navrženo tak aby zbytečně neoslňovalo řidiče, a účastníky provozu na komunikacích. Toto řeší soubor evropských norem, ve kterém se nachází jednotlivé části normy jako výběr třídy osvětlení komunikace, které se určují na základě váhových hodnot jako intenzita dopravy, hustota provozu, rychlost uživatelů apod. Dále požadavky na třídu osvětlení, specifikace výpočtů a měření světelně-technických parametrů na komunikaci.

Teoretická část práce se zabývá fyzikálními vlastnostmi světla, základy světelné techniky, nejčastějšími zdroji světla, stavbou svítidel, a normativními požadavky na osvětlovací soustavy. Budou zde rozebrány základní světelně technické veličiny, světelné zdroje nejčastěji využívané ve VO, technický a konstrukční popis svítidel, a rozebrání normativních požadavků na veřejné osvětlení.

Praktická část práce se zabývá měřením a vyhodnocením osvětlovací soustavy veřejného osvětlení testovacího polygonu Fakulty elektrotechniky a informatiky VŠB-TUO, a to za účelem zjišťování odezvy kamerového systému na jednotlivě se měnící jasy a osvětlenosti na komunikaci, a ověření regulace osvětlovací soustavy. Bude zde rozebrán postup měření světelně-technických parametrů, jejich zaznamenání do tabulek vyhodnocených hodnot, a grafů z nich sestrojených. Na konci bude měření praktické části zhodnoceno na základě grafů patřičných závislostí.

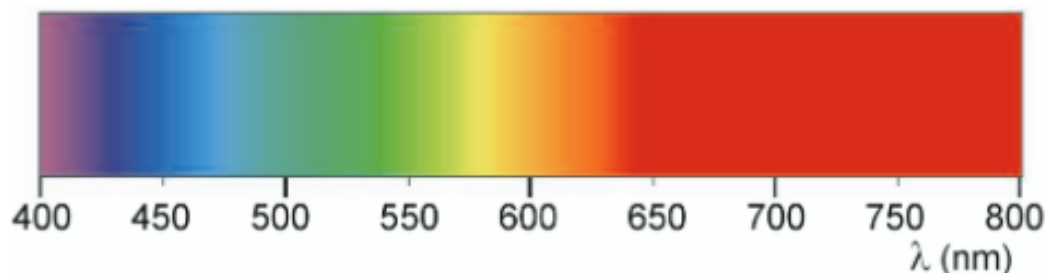
1 Světlo

Světlo je elektromagnetické záření, které je schopno budít zrakový vjem pomocí lidského oka. Světelné záření lze popsat vlnovou délkou. Vlnové délky lidským okem viditelného spektra záření se nacházejí v rozmezí $\lambda = 380 \div 780$ nm. Záření, které disponuje kratší vlnovou délkou než 380 nm se nazývá UV záření, a navazuje na viditelné spektrum. Naopak záření, které navazuje na viditelné spektrum, a má delší vlnové délky než 780 nm, se nazývá záření infračervené. [1]

Z hlediska druhu dodávané energie a látky, dochází ke vzniku světla v současných světelných zdrojích těmito principy:

- Tepelným buzením (inkandescencí), při zahřátí pevné látky na vysokou teplotu
- Vybuzením atomu v elektrickém výboji
- Luminiscence pevných látek (fotoluminiscence, elektroluminiscence)
- Emisí fotonu při průchodu proudu polovodičem.

Jako zástupce prvního principu můžeme napsat obyčejnou wolframovou žárovku, a halogenovou žárovku. U nich vzniká energie díky průchodu elektrického proudu skrze wolframové vlákno. Zástupcem druhého principu jsou nízkotlaké a vysokotlaké výbojové zdroje například (rtuťové, sodíkové, zářivky apod.). Třetí princip vzniku světla je založený na přeměně záření s kratší vlnovou délkou, na záření viditelného spektra. Tento jev nazýváme fotoluminiscence, a nastane v chemické látce zvané luminofor. Luminofor se u výbojových zářivek nanáší na vnitřní část trubice, a ten způsobí transformaci UV záření na viditelné spektrum. Představitelem posledního čtvrtého principu jsou LED diody, u kterých se dá rovněž využít luminofor k transformaci UV záření. [1],[5]



Obr 1.1: Rozložení barev ve spektrální oblasti viditelného záření. [3]

Tab. 1.1: Jednotlivé barevné tóny viditelného světla. [3]

Vlnová délka λ (nm)	Barevný tón spektrální barvy
380 ÷ 420	Fialová
420 ÷ 440	Modrofialová
440 ÷ 460	Modrá
460 ÷ 510	Modrozelená
510 ÷ 560	Zelená
560 ÷ 590	Žlutá
590 ÷ 650	Oranžová
650 ÷ 780	Červená

2 Světelně technické veličiny

2.1 Světelný tok

Označení: Φ

Jednotka: Lumen (lm)

Světelný tok Φ je veličina představována zářivým tokem Φ_e , který je posuzován z pozice citlivosti lidského oka. V podstatě nám udává množství světelné energie vyzářené zdrojem do jeho okolí. Zářivý tok odpovídá velikosti výkonu, který záření vysílá, přijímá, anebo přenáší. Je-li toto záření spojitě tzn. není monochromatické, potom můžeme zářivý tok určit z následujícího vztahu:

$$\phi_e = \int_0^\infty \phi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda = \int_0^\infty \frac{d\phi_e(\lambda)}{d\lambda} d\lambda \simeq \sum_{i=1}^n (\phi_{e\lambda})_i \Delta\lambda_i \quad (2.1)$$

kde $\frac{d\phi_e(\lambda)}{d\lambda}$ - spektrální hustota zářivého toku Φ_e .

Pokud jsou nám známy jednotlivé hustoty zářivého toku monochromatických záření, tak se jedná o čárové spektrum záření. Tím pádem můžeme celkový zářivý tok vypočítat jako sumu všech daných monochromatických toků.

$$\phi_e = \sum_{i=1}^n \phi_{ei}(\lambda_i) \quad (2.2)$$

kde Φ_e - celkový zářivý tok (W); Φ_{ei} - zářivý tok jednotlivých spektrálních čar záření (W).

Pro následující výpočet světelného toku ovšem musíme znát $V(\lambda)$ – poměrná světelná účinnost viditelného záření, která je definovanou funkcí CIE. Vypočteme ji ze vztahu:

$$V(\lambda) = \frac{K_\phi(\lambda)}{K_m} = \frac{K(\lambda)}{683} \quad (2.3)$$

kde $V(\lambda)$ – účinnost monochromatického záření; $K_\phi(\lambda)$ – světelná účinnost ($\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$); $K_m(\lambda)$ – maximální světelná účinnost ($\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$).

Stanovená hodnota K_m je maximální míra zhodnocení zářivého toku 1 W z pohledu normalizovaného pozorovatele $K_m = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ při vlnové délce $\lambda = 555 \text{ nm}$. Tato hodnota odpovídá dennímu vidění.

Potom můžeme světelný tok Φ vypočítat ze vztahu:

$$\phi(\lambda) = K_\phi(\lambda) \phi_e(\lambda) = K_m V(\lambda) \phi_e(\lambda) = 683 V(\lambda) \phi_e(\lambda) \quad (2.4)$$

kde $\Phi(\lambda)$ – světelný tok dané vlnové délky λ (lm); $K_\phi(\lambda)$ – světelná účinnost dané vlnové délky λ ($\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$); $\Phi_e(\lambda)$ – zářivý tok dané vlnové délky (W).

Jestliže se jedná o záření, které je složené z více monochromatických záření, vypočteme světelný tok tak, že celé spektrum se rozdělí na n úseků o šířce $\Delta\lambda$. Poté pro každý takový úsek určíme střední hodnotu zářivého toku Φ_e a hodnotu poměrné světelné účinnosti $V(\lambda)$. Světelný tok potom vypočteme jako sumu všech úseku.

$$\phi = K_m \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta\phi_e(\lambda_i)}{\Delta\lambda_i} \right) V(\lambda_i) \Delta\lambda_i \quad (2.5)$$

Je-li nám znám průběh závislosti zářivého toku na vlnové délce $\Phi_e(\lambda)$, pak světelný tok vypočteme ze vztahu:

$$\phi = 683 \int_0^\infty \left(\frac{d\phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right) V(\lambda) d\lambda \quad (2.6)$$

Světelný tok tedy představuje zářivý tok, který je zpracováván pomocí lidského oka za podmínek fotopického vidění (denního vidění). [1]

2.2 Svítivost

Označení: I

Jednotka: Kandela (cd)

Vyjadřuje prostorovou hustotu světelného toku do různých směrů. Svítivost je tedy v podstatě velikost světelného toku Φ vyzářena v prostorovém úhlu Ω . Jednotka svítivosti je kandela (cd), a je to jedna ze základních jednotek SI soustavy.

Svítivost je definovaná pouze pro bodový zdroj, tedy pro zdroj ležící ve vrcholu prostorového úhlu. Jako takový zdroj se bere zdroj, který má rozměr vyzařovací plochy zanedbatelný v porovnání ke kontrolnímu bodu.

Proto můžeme střední hodnotu svítivosti bodového typu svítidla určit poměrem celkovým světelným tokem svítidla, a prostorového úhlu do něj vyzářuje. Tedy podle vztahu:

$$I_{\gamma\zeta} = \frac{d\phi}{d\Omega_{\gamma\zeta}} \quad (2.7)$$

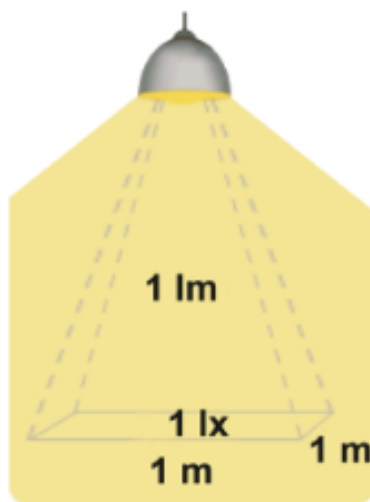
kde $d\Omega_{\gamma\zeta}$ - prostorový úhel, jehož osa leží ve směru určeném těmito úhly γ, ζ a v mezích tohoto úhlu dané svítidlo vyzářuje $d\Phi$ - světelný tok (lm). [2]

2.3 Osvětlenost

Označení: E

Jednotka: Lux (lx)

Osvětlenost neboli intenzita osvětlení je veličina, která nám představuje hodnotu světelného toku, který dopadá na jednotkovou plochu.



Obr 2.1: Osvětlenost. [3]

Pro osvětlenost platí následující vztah:

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (2.8)$$

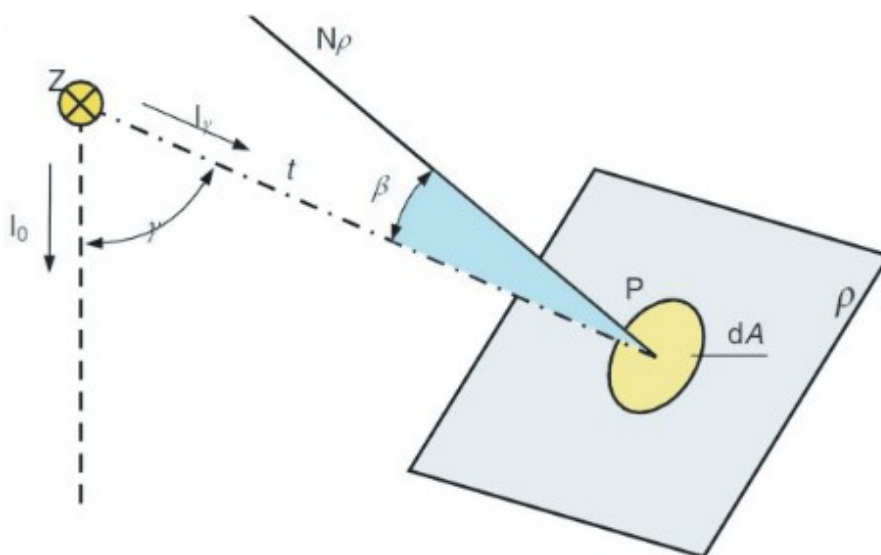
kde E - osvětlenost (lx); $d\Phi$ - světelný tok dopadlý na plochu (lm); dA - plocha, na kterou dopadá světelný tok (m^2).

Pro bodový zdroj můžeme intenzitu osvětlení vyjádřit i skrze svítivost, a to pomocí tzv. čtvercového a kosinového zákona. Na obrázku 2.2 je dána rovina ρ a bod P , ve vzdálenosti l od zdroje. Na bod P dopadá paprsek, a společně s normálou roviny N_ρ svírají úhel β . Intenzitu osvětlení bodového zdroje můžeme tedy vypočíst ze vzorce:

$$E = \frac{I_v \cdot \cos \beta}{l^2} \quad (2.9)$$

kde β - úhel, který svírá dopadající paprsek s normálou plochy; l - vzdálenost světelného zdroje od plochy (m). [1]

Intenzita osvětlení bodového zdroje je nepřímě úměrná čtverci vzdáleností, tedy druhé mocnině vzdálenosti osvětlované plochy. Kdy s rostoucí vzdáleností l osvětlenost klesá. Naopak je přímo úměrná kosinu úhlu β , čili největší osvětlenost plochy nastane v momentě kdy dopadající paprsek, bude ve směru normály N_ρ . Úhel β bude v tom případě nulový. [2],[1]



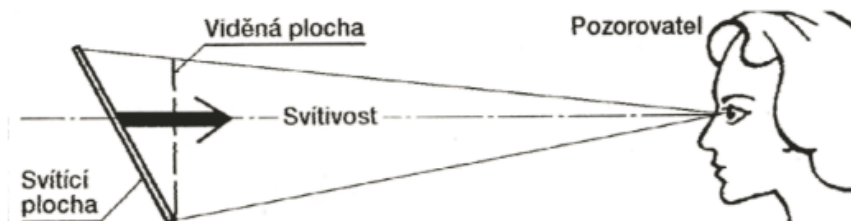
Obr 2.2: Osvětlenost bodového zdroje. [3]

2.4 Jas

Označení: L

Jednotka: Kandela na metr čtvereční ($cd \cdot m^{-2}$)

Jas je fotometrická veličina, kterou lze definovat jako měrnou svítivost. Je to veličina, na níž přímo reaguje zrakový orgán, lépe řečeno lidské oko reaguje na kontrast jasu. Jas je dán plošnou a prostorovou hustotou světelného toku. Z toho vyplývá, že vždy závisí na poloze pozorovatele a směru kam se dívá. Nezáleží však, jestli jas svazku paprsků vychází přímo ze zdroje záření, nebo jestli se neodráží od libovolné plochy. [1]

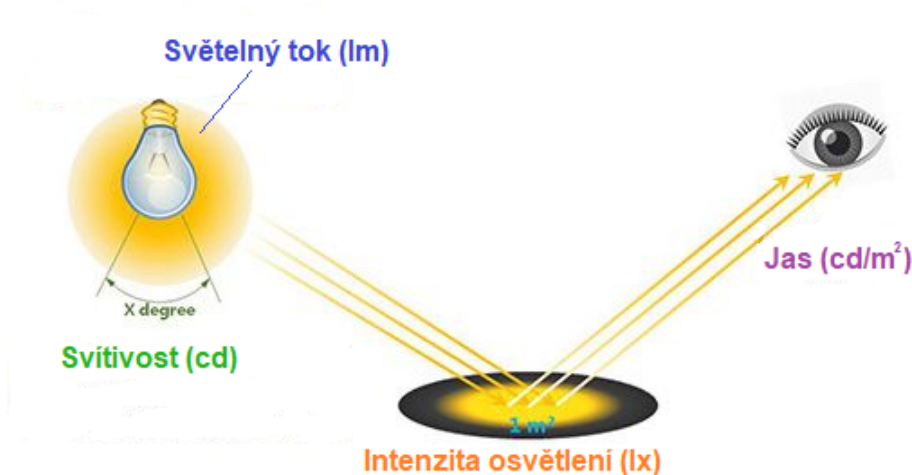


Obr 2.3: Definice jasu. [3]

Jas je vlastně měřítkem pro vjem světlosti určitého svítícího nebo osvětlovaného povrchu. Vypočítá se z podílu svítivosti, a průmětu svítící plochy, kterou vidí pozorovatel. Pokud vidíme plochu pod určitým úhlem, pak průmět této plochy bude menší než skutečná plocha.

$$L = \frac{I}{S_p} \quad (2.10)$$

kde L - jas ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$); I - svítivost (cd); S_p – průmět viditelné plochy (m^2). [5]



Obr 2.4: Vztah mezi světelně technickými veličinami. [25]

2.5 Prostorový úhel

Označení: Ω

Jednotka: Steradián (sr)

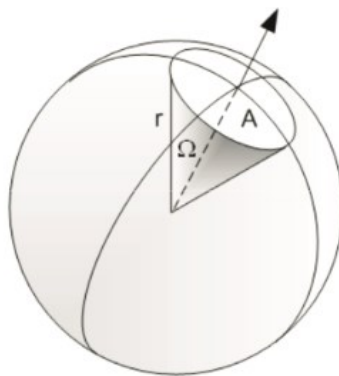
Prostorový úhel je technická veličina která, udává část prostoru, jenž je stanovený kuželovou plochou, který na kouli o určitém poloměru r vytvoří plochu A .

Velikost úhlu, pod kterým můžeme vidět plochu A ze středu koule vyjádříme ze vztahu:

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad (2.11)$$

kde Ω - prostorový úhel (sr); A - plocha odpovídající danému prostorovému úhlu (m^2); r - poloměr (m).

Jestliže chceme znát maximální hodnotu prostorového úhlu musíme za plochu A považovat povrch celé koule, tedy ($A=4\pi r^2$, $\Omega=4\pi$). [1]



Obr 2.5: Vymezení prostorového úhlu. [3]

2.6 Měrný světelný výkon

Označení: η

Jednotka: Lumen na watt ($\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$)

Veličina, která nám udává, jak efektivně se elektrická energie přemění na energii světelnou. To znamená, že udává, kolik světelného toku vznikne z 1 W elektrického příkonu. [4]

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (2.12)$$

kde η - měrný výkon ($\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$); Φ - světelný tok (lm); P - elektrický příkon (W). [1]

2.7 Náhradní teplota chromatičnosti

Označení: T_c

Jednotka: Kelvin (K)

Veličina, která slouží k popisu barevných vlastností světla. U teplotních zdrojů jako jsou žárovky odpovídá teplotě vlákna žárovky. U výbojových zdrojů se zavádí takzvaná náhradní teplota chromatičnosti, která definuje ekvivalentní zdroj s téměř totožným spektrálním složením, jako má daný výbojový zdroj. Barvu světla rozdělujeme do tří kategorií, v závislosti na teplotě chromatičnosti a to:

- teple bílá < 3 300K,
- bílá 3 300 – 5 000 K,
- denní > 5 000 K.

Různé světelné zdroje mohou mít stejnou barvu světla, avšak mohou podávat odlišné podání barev, to závisí na spektrálním složení světla daných zdrojů. Tyto vlastnosti se popisují pomocí indexu podání barev. [1]



Obr 2.6: Teplota chromatičnosti. [3]

2.8 Index podání barev

Označení: R_a

Jednotka: (-)

Tato veličina je měřítkem pro věrohodné podání barev zdrojem, tak jako to známe u přírodního světla, nebo u světla žárovek. Index podání barev určujeme v rozsahu 0 až 100, kdy nejvyšší hodnota $R_a = 100$ poukazuje na zdroj, který dokáže podat všechny barvy naprosto věrohodně. Naopak pokud je hodnota $R_a = 0$, dochází ke zkreslení podání barev. [4]

Nejvyšší hodnotu indexu podání barev dosahuje klasická žárovka $R_a = 100$. Nejnižší hodnotu dosahují zdroje, které vyzařují monochromatické záření např. nízkotlaké sodíkové výbojky, jejichž index podání barev je roven 0. [1]



Obr. 2.7: Znárodnění vnímání barev lidským okem pod vyzařovaným světlem dle hodnoty R_a . [24]

2.9 Životnost světelného zdroje

Označení: -

Jednotka: h

Životnost světelného zdroje nám udává celkovou dobu, po kterou světelný zdroj svítí, až do momentu, kdy jeho vlastnosti nevyhovují kritériím, nebo je nepoužitelný. Z důvodu různých chemických procesů v různých světelných zdrojích, byly zavedeny další pojmy jako užitečná životnost, a průměrná životnost. [2]

- Užitečná životnost se definuje podle poklesu světelného toku zdroje v průběhu jeho let. Jako užitečně životný zdroj se nemůže brát takový zdroj, jehož světelný tok klesne pod 80% původní hodnoty světelného zdroje.
- Průměrná životnost je parametr osvětlovací soustavy, a udává průměr životností jednotlivých zdrojů. Doba životnosti je dána časem, během kterého bude půlka ze sledovaných zdrojů svítit, to znamená že výpadková míra bude 50 %. [1]

3 Světelné zdroje veřejného osvětlení

3.1 Výbojové zdroje

Výbojové zdroje jsou světelné zdroje, které fungují na principu průchodu elektrického proudu skrz určité prostředí s obsahem vhodných par, či plynu a jejich směsí. Nejčastěji se jedná o páry sodíku, rtuti, a halogenidů. Výbojové zdroje můžeme rozdělit na zdroje:

- Podle typu výboje (obloukový, doutnavý, impulsní)
- Podle místa vzniku záření (plynové výbojky, luminiscenční výbojky, výbojky s nažhavenou elektrodou v plynovém výboji)
- Podle tlaku pracovní náplně (nizkotlaké, vysokotlaké). [2]

3.1.1 Nizkotlaké sodíkové výbojky

U nizkotlakých sodíkových výbojek se v její výbojové trubici nachází neon v plynném stavu a sodík ve stavu pevném. Při zapínání se v neonu vytvoří výboj, a vlivem tepelné energie výboje, se sodík přemění z pevného do plynného stavu, a při tlaku par sodíku 0,5 Pa vytváří záření. Barva světla se při změně skupenství sodíku mění z oranžovo-červené na žlutou. Výbojka vyzařuje monochromatické záření v pásmu vlnových délek 589 - 589,6 nm. Index podání barev $R_a = 0$, ve světle této výbojky tedy není možné rozlišovat barvy. Životnost této výbojky se odhaduje až na 24 000 h.[4],[1]

Využití těchto výbojek v naší republice je téměř mizivé. Využívá se tak na osvětlení dálnic a silnic, a to zejména v zemích Beneluxu a Velké Británii. [1]



Obr. 3.1: Nizkotlaká sodíková výbojka a spektrum jejího vyzařování. [3]

3.1.2 Zářivky

Je to v podstatě nizkotlaká rtuťová výbojka, která pracuje na principu přeměny ultrafialového záření na záření o viditelném spektru. Funkce spočívá v tom, že při startu jsou ve skleněné trubici vlivem elektrického pole mezi elektrodami vybuzeny páry rtuti. Tyto páry vyzařují neviditelné ultrafialové záření, které se na viditelné světlo transformuje pomocí látky zvané luminofor, která je nanášena na vnitřní stěně trubice. Pro použití těchto zářivek je nutné je vybavit předřadnými přístroji (elektronický předřadník, startér).

Životnost zářivky je značně závislá, na počtu zapnutí. Proto není vhodné ji využívat v místech, kde dochází k častému zapnutí a vypnutí. Životnost této zářivky je závislá na typu předřadníku. Při použití klasického předřadníku je udávaná doba života něco okolo 10 000 h, při použití elektronického předřadníku doba života vzroste až na 18 000 h.

Nevýhodou těchto zářivek je doba dosažení jmenovité hodnoty světelného toku, pohybuje se okolo tří minut. Další nevýhodou je velmi vysoká teplotní závislost. Index podání barev se pohybuje v rozmezí od 60 do 98. Teplota chromatičnosti od 2700 K do 8000 K.

Kompaktní zářivky

Jsou to zářivky, které fungují na stejném principu jako zářivky lineární. Ovšem jejich trubice jsou speciálně ohnuty a zatočeny do různých tvarů, tak aby dosahovaly kompaktních rozměrů. Kompaktní zářivky se používají v obvodu s elektronickým předřadníkem. Měrný výkon dosahuje díky stínění trubic nižší hodnoty, tedy maximálně $88 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. [1]

Využití ve veřejném osvětlení v České republice je malé, pohybuje se okolo 6 %. Nejčastěji se využívají k osvětlení vedlejších komunikací, či zastávek. [6]

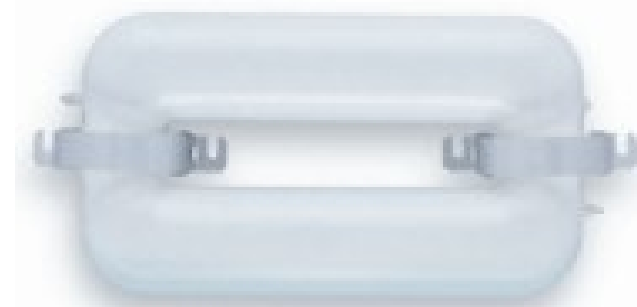


Obr 3.2: Kompaktní zářivka OSRAM. [7]

3.1.3 Indukční výbojky

Indukční výbojky jsou rovněž nízkotlaké rtuťové výbojky, ale od zářivek se liší tím, že nemají elektrody. Pro zapálení a udržení výboje se používá vysokofrekvenční elektromagnetické pole, které vyrobí cívka, popřípadě cívky. Používá se v provedení s elektronickým předřadníkem.

Výhodou této výbojky je malý úbytek světelného toku po dobu, co výbojka svítí, rychlý náběh světelného toku po zapnutí. A velmi vysoká životnost, která dosahuje až 60 000 h, to z důvodu nepřítomnosti elektrod. Díky své vysoké životnosti se indukční výbojky používají v místech s obtížným přístupem jako jsou tunely, mosty, průmyslové haly, sportovní stadiony apod. Nevýhodou indukční výbojky je její velký rozměr, a tím je nízká účinnost svítidel měnit prostorové rozložení světelného toku, protože dochází k pohlcení části světelného toku. [1]



Obr 3.3: Indukční výbojka OSRAM Endura s cívkami po obvodu. [3]

3.1.4 Vysokotlaké sodíkové výbojky

Při zvyšování tlaku par sodíku nedochází k přímé absorpci rezonančních čar 589 a 589,6 nm, ale k jejich rozšíření. Celkové záření, který vyzáří vysokotlaký sodíkový výboj je tedy velké, a je vyzařováno v širokém spektru vlnových délek. Na optimální tlak se sodík dostane jen při vysokých teplotách, které několikanásobně převyšují technické možnosti běžně používaných skel. Proto se na výrobu hořáku výbojky neboli výbojového prostoru používá polykrystalický oxid hlinitý. Tento materiál je dobře tepelně stabilní, a má vysokou odolnost proti agresivním parám sodíku.

Při zvýšení tlaku ve výbojovém prostoru dochází k postupnému rozšíření spektrálního vyzařování, a vzniká spojitě záření. V samých počátcích vysokotlakých sodíkových výbojek se index podání barev pohyboval okolo $R_a = 23$. Dnešní vysokotlaké výbojky dosahují hodnoty až $R_a = 80$, ovšem za cenu poklesu měrného výkonu. [4]

V dnešní době je nabídka vysokotlakých sodíkových výbojek velmi široká, příkony výbojek se pohybují v rozmezí 50 – 1000 W, měrný výkon je okolo $150 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. Výbojka není schopná teplého znovuzapálení, a je možné ji rozsvítit až vychladne. Na jmenovitý světelný tok se dostane zhruba po 5 minutách. Výhodou je, že výbojka při změnách venkovní teploty vyzařuje téměř stále stejný světelný tok. V provozu je nutné je vybavit obvod tlumivkou, a také vhodným zapalovacím zařízením. Životnost výbojky může dosáhnout až 30 000 h.

Díky svým úsporám elektrické energie, je použití vysokotlakých sodíkových výbojek ve VO poměrně značné. Ve veřejném osvětlení mají vysokotlaké sodíkové výbojky mnohostranné využití, používají se pro osvětlování všech typů komunikací, pěších zón. Značnou nevýhodou je horší schopnost rozlišovat barvu osvětlených předmětů. Ve VO se používají výbojky s nízkými příkony, pro obce 50 – 70 W, pro města do 150 W. Pro osvětlení komunikací okolo 200 – 250 W. [1]



Obr 3.4: Vysokotlaká sodíková výbojka a spektrum jejího vyzařování. [3]

3.1.5 Halogenidové výbojky

U halogenidových výbojek vzniká viditelné světlo buď v parách rtuti nebo, a to převážně zářením halogenidů (až 90 % záření). Halogenidy jsou sloučeniny halových prvků např. s galiem, thaliem, sodíkem apod. Díky tomu mají dosahují halogenidové výbojky vysokému indexu podání barev, a to až $R_a = 90$ a měrného výkonu až $130 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. Pro provoz je nutný zapalovač, vyrábí se ve výkonové řadě 35 W až 3500 W.

Hořák halogenidové výbojky je vyroben buďto z keramiky, nebo z křemene. Venkovní bál je z borosilikátového skla. Výhodou halogenidové výbojky je, že dokáže pracovat ve velkém rozmezí teplot až od -20 do 60°C . Životnost výbojky se pohybuje okolo 15 000 h. Na jmenovité parametry halogenidová výbojka naběhne cca. za 10 minut, v závislosti na její velikosti, a příkonu. [1]

Oblast využití halogenidových výbojek je velmi široká. Používají se venkovních soustavách pro osvětlování náměstí, důležitých ulic, dopravních uzlů, sportovních stadiónů, pěších zón, či významných

budov. Ve vnitřních prostorech se používají pro osvětlení obchodních domů, výstavišť, průmyslových provozů apod. [2]



Obr 3.5: Halogenidová výbojka a spektrum jejího vyzařování. [3]

3.2 Elektro-luminiscenční zdroje

Skupina zdrojů, do níž patří světelné diody LED, laserové diody a elektroluminiscenční panely. LED diody a laserové diody jsou polovodičové součástky, ve kterých je zabudován PN přechod, který při průchodu elektrického proudu emituje záření. V elektroluminiscenčních panelech se světlo budí pomocí elektrického pole v luminoforu. Pro VO jsou však nejvýznamnější LED diody. [2]

3.2.1 LED

LED diody se stávají v poslední době nejčastějším zdrojem pro VO. Je to zejména díky zvyšujícímu se měrnému výkonu. Světelné diody jsou v podstatě elektronický prvek, který umožňuje generaci světelného záření, při průchodu proudu polovodičovým přechodem PN. Jeho základem jsou tedy naprosto odlišné fyzikální principy, než u žárovek a výbojek, a má mnoho jiných vlastností kterými se liší od ostatních zdrojů světla. Polovodičový přechod vyzařuje v podstatě monochromatické záření.

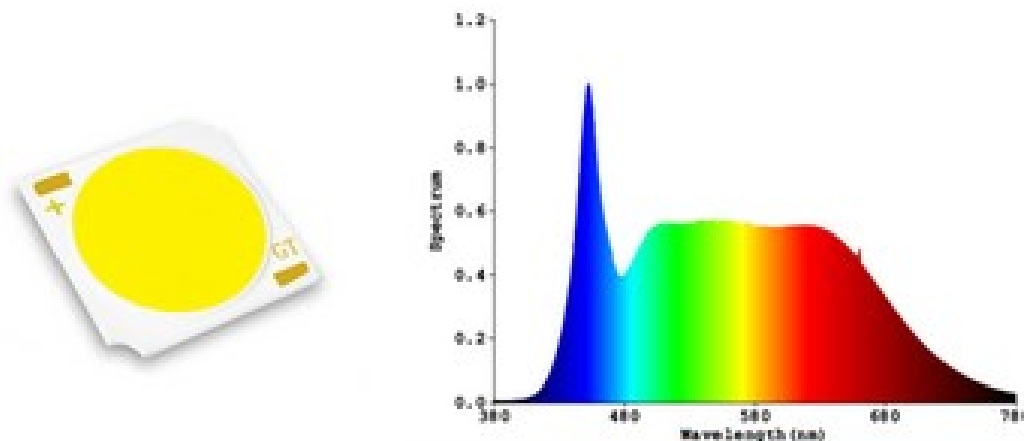
Pomocí LED můžeme generovat bílé světlo prakticky dvěma způsoby, a to:

- mísení monochromatických LED, kdy bílé světlo získáme mísením několika vlnových délek určitého výkonového poměru. Když smísíme dvě vlnové délky vznikne nám dichromatický zdroj, když smísíme tři monochromatické LED zářiče (náznorný příklad je RGB) vznikne trichromatický zdroj. V závislosti na zvyšování počtu monochromatických složek, se bude zvyšovat i kvalita barevného podání bílého světla.
- konvertorem vlnových délek, kdy při primárním vyzařování na kratší vlnové délce je část světla pohlcena v konvertorovém materiálu, a potom je znovu vyzařena jako záření s delší vlnovou délkou. Nejčastěji využívané konvertory jsou na fosforové bázi.

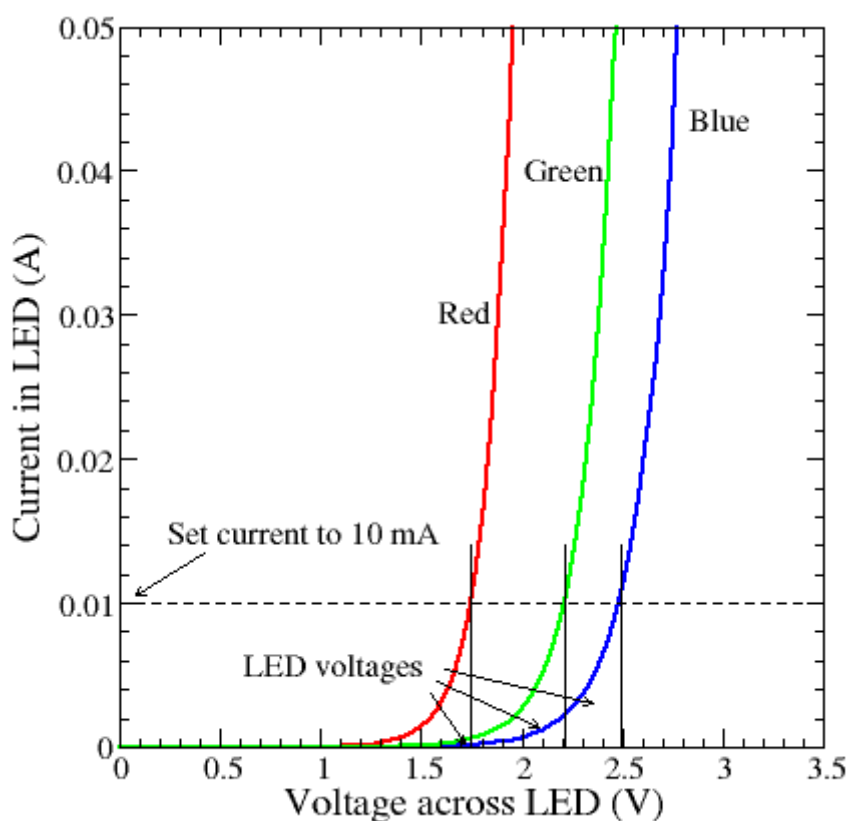
Nejčastějším představitelem je bílá LED, na modrém základu LED čipu a fosforovém konvertoru. Záření, které je vyzařováno z polovodiče má modrou barvu. Část tohoto světla je vyzařena přímo k pozorovateli, zatímco druhá část je v prostoru fosforové vrstvy absorbována a znova vyzařena s delší vlnovou délkou, a ve žlutém spektru. Toto vyzařované světlo je složeno z luminiscence modrého, a fosforescence světla žlutého. Nastavováním poměru mezi luminiscencí a fosforescencí lze optimalizovat nejvhodnější teplotu chromatičnosti, ale také měrný výkon, který se vzrůstající teplotou chromatičnosti klesá a index podání barev s klesající teplotou chromatičnosti roste.

Vzhledem k tomu, že jsou LED stále ve vývoji, tak jejich měrný výkon dosahuje stále větší hodnoty. Dá se ovšem očekávat, že po ukončení vývoje se měrný výkon bude pohybovat v oblasti $200 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ a výše. Z důvodu malého výskytu červené barvy ve vyzařovaném spektru, je jednou z nevýhod LED dosažení vysokého indexu podání barev. Nicméně díky současným technologiím jsme schopni dosáhnout lepšího R_a než 90.

Největším dosavadním problémem u technologie LED je odvod tepla z oblasti PN přechodu. Proto se jednotlivé zdroje v oblasti příkonu pohybují v řádech jednotek wattů. Dalším nevýhodou je snižování životnosti, a světelného toku se zvyšující se teplotou PN přechodu. Výhodou tohoto zdroje oproti klasickým zdrojům je, že LED mají rychlejší náběh a snazší směřování světelného toku, nezávislosti životnosti na opětovné spínání, mechanickou odolnost. Pro napájení LED se používá nízké stejnosměrné napětí, řídí se kvůli V-A charakteristice proudem. [1]



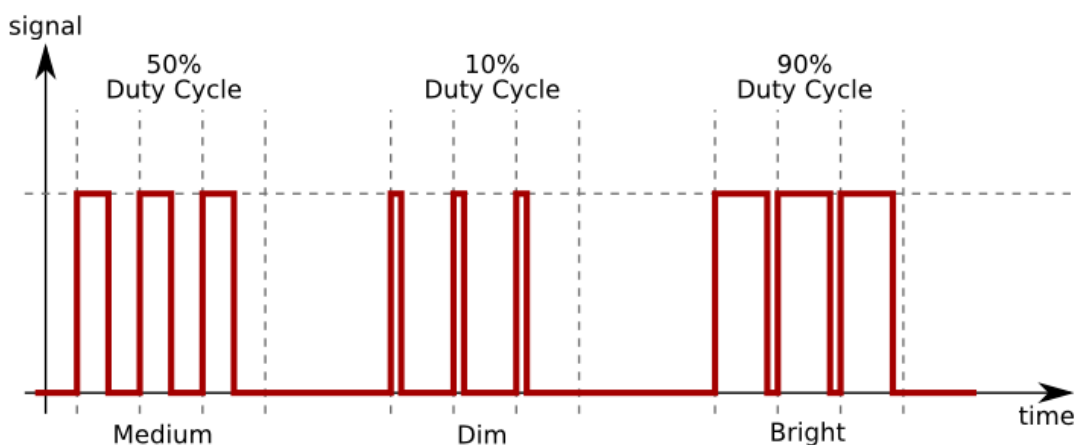
Obr 3.6: Příklad LED čipu a spektrum jeho vyzařování. [27]



Obr 3.7: VA charakteristiky LED diody v propustném směru. [12]

3.2.2 Regulace LED

Pracovní oblast LED diody se nachází za kolenem charakteristiky, z toho můžeme vyvodit, že LED je řízena proudem, který zajišťuje požadovaný jas a barvu. Nejjednodušší způsob nastavení proudu je pomocí předřadného odporu. Propracovanějším způsobem regulace, je však použití pulzně šířkové modulace (zkr. PWM). V tomto případě protéká LED diodou pulzní proud. Tyto pulzy mají vyšší frekvenci, než kterou je lidské oko schopno zachytit, to v důsledku zapříčiní, že se svit diody se zdá být nepřerušovaný. Změnou střidy pulzů pak můžeme měnit jas diody. [13],[14]



Obr 3.8: Pulzně šířková modulace. [11]

4 Svítidla veřejného osvětlení

Obecně můžeme svítidla popsat jako zařízení, které rozdělují, filtrují, nebo mění světlo vyzařované jedním nebo více světelnými zdroji. Kromě samostatných světelných zdrojů, obsahují všechny potřebné díly k upevnění, a ochraně zdrojů. Světelně aktivní části svítidel se používají ke změně rozložení, usměrnění nebo rozptýlení světelného toku, k omezení oslnění, omezení jasů svítidla, filtraci. Konstruktivní části se používají k upevnění zdroje, upevnění světelně aktivních částí, k ochraně před vniknutím nežádoucích předmětů či vody.

4.1 Parametry svítidel Světelný tok svítidla

Označení: Φ_{SV}

Je dán rozdílem světelného toku všech světelných zdrojů Φ_Z ve svítidle, a ztraceného světelného toku Φ_{ZTR} , který se ztratil v důsledku optického zpracování. [1]

Rozdělení svítidel podle rozložení jejich světelného toku:

Svítidla rozdělit na základě rozložení jejich světelného toku do dolního, a horního poloprostoru. [8]

Tab. 4.1: Rozdělení svítidel podle rozložení světelného toku. [8]

Označení svítidla	Světelný tok do dolního poloprostoru (%)	Světelný tok do horního poloprostoru (%)	Značení podle DIN 5040
přímé	90 až 100	0 až 10	A
převážně přímé	60 až 90	10 až 40	B
smíšené	40 až 60	40 až 60	C
převážně nepřímé	10 až 40	60 až 90	D
nepřímé	0 až 10	90 až 100	E

Účinnost svítidla

Označení: η_{SV}

Udává, jak hospodárné dané svítidlo je. Účinnost svítidla se vypočte, jako poměr světelného toku svítidla ku světelnému toku zdroje. Platí vztah:

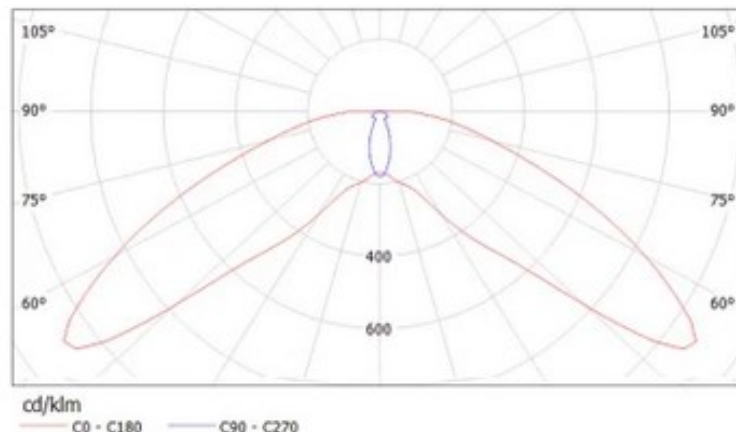
$$\eta_{SV} = \frac{\Phi_{SV}}{\Phi_Z} \quad (4.1)$$

kde η_{SV} - účinnost svítidla (-); Φ_{SV} - světelný tok svítidla (lm); Φ_Z - světelný tok všech zdrojů ve svítidle (lm).

Běžné svítidla dosahují účinnosti 50 až 80 %. LED svítidla mohou dosahovat až 95%. [1]

Křivky svítivosti svítidel

Svítivost udává množství světelného toku Φ , který je vyzařován do určitého prostorového úhlu Ω . Pro svítidla jsou proto udávány křivky svítivosti, které nám pomáhají představit si šíření světelného toku do prostoru. Křivky svítivosti nalezneme v katalogích svítidel. [1]



Obr 4.1: Příklad křivek svítivosti svítidla veřejného osvětlení. [17]

Jas svítidel

Označení: L_γ

Je dán podílem svítivosti v daném směru a velikosti průmětu svítící plochy do roviny kolmé ke směru pozorování. Platí vztah:

$$L_\gamma = \frac{I_\gamma}{A \cdot \cos \gamma} \quad (4.2)$$

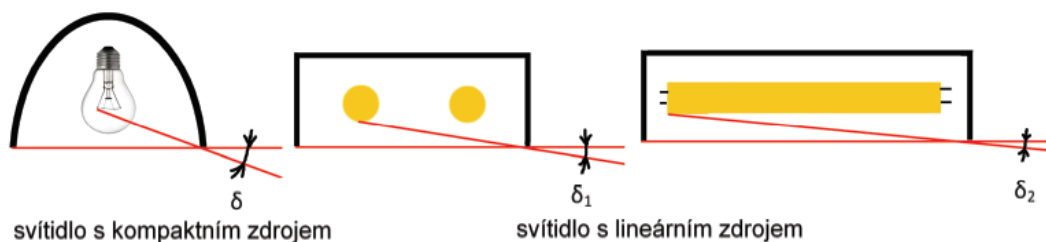
kde L_γ - jas svítidel ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$); I_γ - svítivost svazku světlených paprsků; $A \cdot \cos \gamma$ - velikost průmětu pozorované svítící plochy.

Snížení jasu pro účel zmenšení oslnění v kritických úhlech pohledu se u svítidel realizuje dvěma způsoby. U prvního způsobu zvětšíme průmět světelně činné plochy, a to pomocí difuzorů. Druhý způsob spočívá v tom, že omezíme svítivost do daného úhlu za pomoci použití mřížek. [8]

Úhel clonění

Označení: δ

Úhel zaclonění nám říká, v jaké míře je světelný zdroj zacloněn svítidlem. Je to nejmenší ostrý úhel mezi vodorovnou rovinou a přímkou spojující okraj svítidla se světelným zdrojem. U klasické žárovky je to její vlákno, u výbojky nebo zářivky je to povrch baňky. [1]



Obr 4.2: Úhel clonění svítidel. [3]

4.2 Třídy svítidel

Rozdělení podle elektrotechnických vlastností, odpovídá elektrotechnickým předpisům, které jsou ve souladu s normou ČSN EN 60 598-1, a svítidla lze tak rozlišit podle ochrany před nebezpečným dotykovým napětím na třídy:

- Třída 0 – má pouze základní izolaci, nemožnost připojení ochranného vodiče
- Třída I – svítidlo má prostředky na připojení vodivých částí na ochranný vodič
- Třída II – ochrana dvojitou, nebo zesílenou izolací
- Třída III – označuje svítidla pouze na SELV, nebo PELV zdroje (bezpečné napětí)

Svítidla musí být konstrukčně provedeny tak, aby jejich živé části nebyly přístupné. Proto se používá krytí svítidel, a podle normy ČSN EN 60 529 (33 0330) platí, že se druh krytí svítidla označuje zkratkou IP a dvojčíslím. První číslice vyjadřuje ochranu před nebezpečným dotykem živých nebo pohybujících se částí a před vniknutím cizích předmětů, vybírá se v rozsahu od 0 do 6. Druhá číslice značí ochranu před vniknutím vody, a to v rozsahu od 0 do 8. [8]

Pro použití ve veřejném osvětlení se nejčastěji využívají svítidla s krytím IP65, nebo IP66. Nejnižší stupeň krytí svítidel u veřejného osvětlení je IP23. Vyšší krytí je rovněž zárukou delší životnosti svítidla, jelikož se pomaleji zanáší, a degradují. [2],[6]



Obr 4.3: Svítidlo veřejného osvětlení firmy Artechnic – Schröder s krytím IP66. [15]

Svítidla můžeme rozdělit i podle odolnosti konstrukce proti mechanickému poškození a vandalismu. Mechanická odolnost se značí zkratkou IK a číslem v rozsahu 0 až 10, které určuje stupeň mechanické odolnosti. [1]

4.3 Skladba svítidel

Svítidla se skládají ze tří částí, a to jsou světelně optické prvky, elektrotechnické prvky, a konstrukční prvky.

4.3.1 Světelně optické prvky

Světelně optické prvky slouží k usměrnění světelného toku, to znamená k úpravě křivek svítivosti, omezení oslnění a filtraci světelného toku. Účinnost a další parametry závisí na kvalitě optického systému. Usměrnění světelného toku se v praxi realizuje pomocí těchto optických prvků.

Reflektor

Reflektor se používá se k usměrnění světelného toku pomocí zrcadlových odrazů. Jako materiál se převážně používají převážně slitiny hliníku potažené kovy s příměsí stříbra se zrcadlovou povrchovou úpravou. Takto vyrobené reflektory jsou nejlepší možnou volbou, pro dosažení co nejlepší účinnosti svítidel. (až 95 %). [1]



Obr 4.4: Reflektor na svítidlu osazeným LED modulem. [28]

Refraktor

Refraktor se používá k usměrnění světelného toku na základě propustnosti optických materiálů. Konstruovány jsou tak aby k usměrnění světelného toku docházelo podle zákona lomu světla. Nejčastěji se využívá polykarbonát, který má sice horší propustné vlastnosti, ale mechanické jsou o mnoho lepší. Ve srovnání s reflektorem jsou účinnosti refraktoru obecně nižší. [8],[9]



Obr 4.5: Refraktor na svítidlu Autobahn LED Cobra Head. [26]

Optická čočka

Funguje na stejném principu jako refraktor, tedy na lomu světla. Díky stále většímu využití LED diod, výrazně vzrostlo použití optických čoček ve veřejném osvětlení. Jelikož jsou v praxi požadovány rozdílné křivky svítivosti, je nutné upravovat rozložení světelného toku těchto světelných zdrojů. Ve svítidlech ve VO je požadováno, aby optické čočky rozšířily charakter vyzařování světelné diody do všech směrů. Účinnost optických čoček pro světelné diody se pohybuje v rozmezí 80 až 90 %. [2]



Obr 4.6: Optická čočka s fotometrickou plochou svítivosti pro VO.[17]

Difuzor

Difuzor, jinak řečený rozptylovač se používá se k usměrnění světelného toku na základě difuzního odrazu, rozptyluje světelný tok odrazem nebo prostupem a vyzařuje ho jako rovnoměrně rozptýlenou plochu. Jako materiál se vesměs používá tvrzené sklo, polykarbonát a PMMA. [9]

Tvary difuzorů:

- Vypouklý difuzor – nejpoužívanější typ, nejlepší poměr cena/výkon
- Ploché sklo – větší ztráty, jelikož světlo prochází tlustší vrstvou skla
- Mírně vypouklé sklo – svítidlo s mírně vypouklým sklem, částečně snižuje nevýhody plochého skla, má lepší účinnost než ploché sklo. [10]



Obr 4.7: Ploché sklo jako difuzor na svítidlu ATHINA. [21]

4.3.2 Elektrotechnické prvky

Elektrotechnické prvky svítidel slouží k přívodu elektrické energie ke světelným zdrojům, a k zajištění provozu světelného zdroje.

Předřadník

Předřadník se může skládat z jedné, nebo z více částí. Slouží k přizpůsobení napájení, ke generaci zapalovacího napětí, k eliminaci stroboskopického jevu, nebo k potlačení rádiového rušení.

Elektronické předřadníky (zářivky, výbojky)

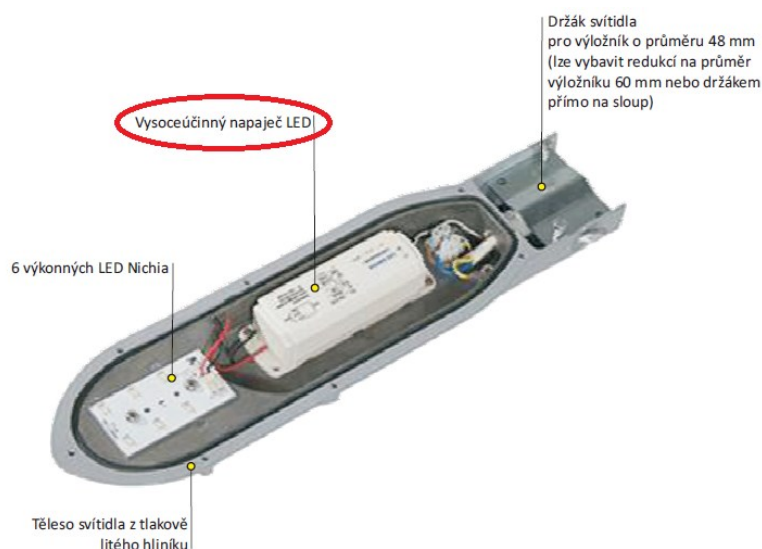
Výhody elektronických předřadníků tkví v okamžitém startu bez blikání a rychlým náběhem světelného toku na jeho jmenovitou hodnotu, stabilní výboj, úplná eliminace stroboskopického jevu, zvýšení měrného výkonu, menší rozměry, či menší ztráty. [1]



Obr 4.8: Elektronický předřadník. [16]

Zdroje pro napájení LED diod

Tyto zdroje mají polovodičovou konstrukci, jejich hlavní funkcí je držet příkon LED v požadovaných mezích. Jelikož se parametry LED v průběhu svého života, díky stárnutí, zahřívání mění, jedná se většinou o zdroje konstantního proudu. Nejčastěji jsou to proudy 350 mA a 700 mA. [1]



Obr 4.9: Zdroj pro napájení LED diod, svítidlo Artechnic – Schröder Skido. [15]

4.3.3 Konstrukční prvky

Konstrukce svítidel musí být zhotovená tak, aby byla schopna odolat běžnému zacházení jako je manipulace, instalace, či transport. Mechanickou odolnost a pevnost udávají materiály, které byly použity a rovněž provedení konstrukce. Na svítidla, která jsou využívány v obtížných podmínkách jsou kladeny vysoké požadavky na mechanickou pevnost. Vyšší pevnosti dosáhneme přidáním výztuh, nebo prolisováním. Konstrukce svítidel je tvořena nosnými, a ochrannými prvky.

Nosná konstrukce svítidla nese optické a elektrické části, ale rovněž se používá k upevnění celého svítidla. Nejvyužívanější materiály na výrobu jsou hliník, ocel, a plast. Ocel se používá pro výrobu nosných konstrukcí svítidel. Hliník, a jeho slitiny se zpracovávají tlakovým litím, nebo protlačováním. Lití se používá hlavně pro výrobu složitých tvarů, jako jsou svítidla určena pro pozemní komunikace. Plasty jsou vyráběny v různých barvách, či v čiré formě a liší se vlastnostmi, jako je pevnost, tepelná odolnost, odolnost vůči UV záření. Nejčastěji se používají k výrobě zářivkových svítidel se zvýšeným krytím, a i pro venkovní svítidla. [2]

5 Normativní požadavky VO

Požadavky pro návrh osvětlení pozemních komunikací je dán souborem evropských norem. Jedná se o normy ČSN CEN/TR 13201-1, která se zabývá výběrem třídy osvětlení komunikací, ČSN EN 13201-2 stanovuje požadavky na osvětlení komunikací, ČSN EN 13201-3 specifikuje výpočty světelně-technických parametrů, ČSN EN 13201-4 stanovuje podmínky a postupy pro měření světelně-technických parametrů, a ČSN EN 13201-5 která se zabývá energetickou náročností osvětlovacích soustav.

5.1 Výběr třídy osvětlení komunikací na základě hustoty provozu

Výběrem třídy osvětlení se zabývá evropská norma ČSN CEN/TR 13201-1: Osvětlení pozemních komunikací – Část 1: Návod pro výběr tříd osvětlení. Je to technická zpráva, která obsahuje návod pro výběr tříd osvětlení pro pevné osvětlovací soustavy určené k zajištění dobré viditelnosti na veřejných pozemních komunikacích a prostranství. Charakterizuje třídy osvětlení, které jsou uvedené v ČSN EN 13201-2 a obsahuje směrnice pro výběr nejvhodnější třídy v konkrétní situaci.

Mezi parametry, podle nichž jsou stanovovány různé třídy patří návrhová rychlost, intenzita dopravy, hustota provozu, skladba dopravního proudu, geometrické uspořádání komunikace, a vzhled okolního prostředí.

Třídy osvětlení pro motorovou dopravu (M)

Tyto třídy osvětlení jsou určeny pro motorové vozidla na dopravních pozemních komunikacích. Použití konkrétní třídy závisí taky na funkci pozemní komunikace.

Pro určení třídy osvětlení M se nejprve stanoví součet váhových hodnot (V_{ws}) jednotlivých parametrů (V_w) v dané situaci. Číslo třídy osvětlení M je pak dáno vztahem:

$$M = 6 - V_{ws} \quad (5.1)$$

Podle výběru daných váhových hodnot v tabulce 5.1, a následného výpočtu se určí číslo třídy osvětlení M v rozmezí od 1 do 6. Pokud součet váhových hodnot je $V_{ws} < 0$, použije se hodnota $V_{ws} = 0$. Pokud je konečné číslo třídy osvětlení M menší nebo rovno nule, používá se třída osvětlení M1. [18]

Tab. 5.1: Parametry pro výběr třídy osvětlení M. [18]

Parametr	Možnosti	Popis		Váhová hodnota V_w
Navrhovaná rychlost nebo dovolená rychlost	Velmi vysoká	$v \geq 100$ km/h		2
	Vysoká	$70 < v < 100$ km/h		1
	Střední	$40 < v \leq 70$ km/h		-1
	Nízká	$v \leq 40$ km/h		-2
Intenzita dopravy		Dálnice, vícepruhové komunikace	Dvoupruhové pozemní komunikace	
	Vysoká	> 65 % maximální kapacity	> 45 % maximální kapacity	1
	Střední	35 % - 65 % maximální kapacity	15 % - 45 % maximální kapacity	0
	Nízká	< 35 % maximální kapacity	< 15 % maximální kapacity	-1
Skladba dopravního proudu	Smíšená s vysokým podílem nemotorové dopravy			2
	Smíšená			1
	Pouze motorová			0
Směrově rozdělená komunikace	Ne			1
	Ano			0
Hustota křižovatek		Úrovňové křižovatky (počet/km)	Mimoúrovňové křižovatky, vzdálenost mezi mosty (km)	
	Vysoká	> 3	< 3	1
	Střední	≤ 3	≥ 3	0
Parkující vozidla	Vyskytují se			1
	Nevyskytují se			0
Jasnost okolí	Vysoká	Výlohy, reklamní plochy, sportoviště, nádražní a skladové areály		1
	Střední	Běžná situace		0
	Nízká			-1
Náročnost navigace	Vysoká			2
	Střední			1
	Nízká			0

Třídy osvětlení pro konfliktní oblasti (C)

Třídy osvětlení C jsou dány pro konfliktní oblasti tzn. tam, kde se proudy vozidel kříží, nebo kde se kříží s oblastmi se zvýšeným počtem chodců, cyklistů, a jiných uživatelů pozemní komunikace (křižovatky, kruhové objezdy, obchodní třídy). Za konfliktní oblast je také brána oblast, kde se snižuje počet jízdních pruhů, nebo kde se jízdní pruhy zužují, což může vést k větší pravděpodobnosti střetu vozidla s chodci, cyklisty, jinými vozidly, či pevnými objekty.

V konfliktních oblastech se používá jako hodnotící kritérium jas. V případech, kdy nelze použít jas (např. krátké pozorovací vzdálenosti), se jako hodnotící kritérium využívá osvětlenost. Vztah mezi jasnem a horizontální osvětleností je závislý na světlosti povrchu vozovky Q_0 .

Tab. 5.2: Ekvivalentní třídy osvětlení M a C pro různé hodnoty Q_0 . [18]

Třída osvětlení M			M1	M2	M3	M4	M5	M6
Třída osvětlení C pro $Q_0 \leq 0,05 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$			C0	C1	C2	C3	C4	C5
Třída osvětlení C pro $0,05 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1} < Q_0 \leq 0,08 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$		C0	C1	C2	C3	C4	C5	C5
Třída osvětlení C pro $Q_0 > 0,09 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C5	C5

Jelikož jsou třídy osvětlení C určeny pro stejné uživatele jako třídy osvětlení M, používá se pro stanovení třídy osvětlení tabulka 5.2. Z prvního řádku tabulky se určí třída osvětlení M z komunikací navazujících na řešenou konfliktní oblast. A pro tuto danou třídu, a hodnotu Q_0 vozovky se odečte ekvivalentní třída C. Minimální úroveň osvětlení v konfliktní oblasti by nemělo být menší než úroveň osvětlení u navazující komunikace. Je však doporučeno, aby třída osvětlení konfliktní oblasti byla o třídu vyšší, než je třída osvětlení navazující komunikace. [18]

Třídy osvětlení pro chodce a pomalou dopravu (P)

Třídy osvětlení P jsou určeny převážně pro chodce a cyklisty, kteří se pohybují po chodnících a cyklostezkách, a taky pro řidiče pohybující se nízkou rychlostí v obytných oblastech. Jelikož se chodci pohybují daleko nižší rychlostí než řidiči motorových vozidel, liší se tak jejich požadavky a zrakové úkoly. Toto berou v úvahu parametry v tabulce pro výběr tříd osvětlení P.

Pro určení třídy osvětlení P se nejprve stanoví součet váhových hodnot (V_{ws}) jednotlivých parametrů (V_w) v dané situaci. Obdobně jako u třídy M. Číslo třídy osvětlení P je pak dáno vztahem:

$$P = 6 - V_{ws} \quad (5.2)$$

Podle výběru daných váhových hodnot, a následného výpočtu se určí číslo třídy osvětlení P v rozmezí od 1 do 6. Pokud součet váhových hodnot je $V_{ws} < 0$, použije se hodnota $V_{ws} = 0$. Pokud je konečné číslo třídy osvětlení P menší nebo rovno nule, používá se třída osvětlení P1. [18]

5.2 Požadavky na osvětlení komunikací

Tato část evropské normy ČSN EN 13201-2: Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky, se zabývá stanovením požadavků, které jsou specifikovány prostřednictvím tříd osvětlení pozemních komunikací s ohledem na zrakové potřeby uživatelů, a dopadem na životní prostředí.

Obecně můžeme říct, že část této normy se zabývá požadavky na osvětlení pozemních komunikací, které jsou zahrnuté do tříd podle první části těchto norem, jenž byla popsána výše.

Požadavky pro motorovou dopravu

Třídy osvětlení M jsou určeny pro řidiče motorových vozidel na dopravních pozemních komunikacích. Hlavní požadavky pro třídu osvětlení M se zakládají na jasu povrchu jízdního pásu, a obsahují hodnoty průměrného jasu, celkové rovnoměrnosti a podélné rovnoměrnosti pro suchý povrch pozemní komunikace. Dalšími požadavky jsou hodnota prahového přírůstku (f_{TI}), která vyjadřuje omezující oslnění, a činitel osvětlenosti okolí (E_{IR}). [19]

Tab. 5.3: Požadavky pro třídu osvětlení M. [19]

Třída	Jas suchého a mokrého povrchu jízdního pásu pozemní komunikace				Omezující oslnění	Osvětlení okolí
	Suchý povrch			Mokrý povrch	Suchý povrch	Suchý povrch
	\bar{L} (cd·m ²) (minimální udržovaná hodnota)	U_O (-) (minimální hodnota)	U_I (-) (minimální hodnota)	U_{OW} (-) (minimální hodnota)	f_{TI} (%) (minimální hodnota)	R_{EI} (-) (minimální hodnota)
M1	2,00	0,40	0,70	0,15	10,00	0,35
M2	1,50	0,40	0,70	0,15	10,00	0,35
M3	1,00	0,40	0,60	0,15	15,00	0,30
M4	0,75	0,40	0,60	0,15	15,00	0,30
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15,00	0,30
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	20,00	0,30

-Průměrný jas (\bar{L}) vyjadřuje celkovou úroveň jasu, která ovlivňuje řidiče

-Celková rovnoměrnost (U_O) je měřítko změny jasu, a vyjadřuje jak dobře slouží povrch komunikace jako pozadí pro dopravní značení a ostatní uživatel komunikace.

-Podélná rovnoměrnost (U_I) je měřítko rozlišitelnosti opakujícího se vzoru světlých a tmavých polí na povrchu pozemní komunikace. Ovlivňuje zrakové podmínky na dlouhých úsecích pozemní komunikace.

-Prahový přírůstek (f_{TI}) ukazuje, že osvětlení pozemních komunikací je rovněž zdrojem oslnění, jehož stupeň závisí na typu svítidel, typu světelného zdroje. [19]

Požadavky pro konfliktní oblasti

Třídy osvětlení C jsou určeny pro řidiče motorových vozidel, avšak v případě konfliktních oblastí, jako jsou křižovatky, kruhové objezdy apod., kde nelze použít výpočty jasu povrchu pozemní komunikace. Hlavní požadavky jsou založeny na vodorovné osvětlenosti, a jsou vyjádřeny průměrnou osvětleností a celkovou rovnoměrností.

Tab. 5.4: Požadavky pro třídu osvětlení C. [19]

Třída	Vodorovná osvětlenost	
	\bar{E} (lx) (minimální udržovaná hodnota)	U_o (-) (minimální hodnota)
C0	50,00	0,40
C1	30,00	0,40
C2	20,00	0,40
C3	15,00	0,40
C4	10,00	0,40
C5	7,50	0,40

kde \bar{E} – průměrná osvětlenost; U_o – celková rovnoměrnost osvětlenosti.

Oblast pozemní komunikace, kde se používají požadavky v tabulce 5.4, může zahrnovat pouze jízdní pás v případě, že se pro ostatní oblasti určené pro chodce a cyklisty použijí samostatné požadavky na osvětlení. [19]

Požadavky pro chodce a cyklisty

Třídy osvětlení P jsou určeny pro chodce a cyklisty, kteří se pohybují po chodnících, cyklostezkách, pěších zónách, parkovištích apod. Hlavní požadavky jsou založeny rovněž na vodorovné osvětlenosti, a jsou vyjádřeny hodnotami průměrné osvětlenosti a minimální osvětlenosti.

Tab. 5.5: Požadavky pro třídu osvětlení P. [19]

Třída	Vodorovná osvětlenost		Doplňující parametry při požadavku na rozpoznání obličeje	
	\bar{E} (lx) (minimální udržovaná hodnota)	E_{min} (lx) (udržovaná hodnota)	$E_{v,min}$ (lx) (udržovaná hodnota)	$E_{sc,min}$ (lx) (udržovaná hodnota)
P1	15,00	3,00	5,00	5,00
P2	10,00	2,00	3,00	2,00
P3	7,50	1,50	2,50	1,50
P4	5,00	1,00	1,50	1,00
P5	3,00	0,60	1,00	0,60
P6	2,00	0,40	0,60	0,20

kde \bar{E} - Průměrná osvětlenost; E_{min} - minimální osvětlenost; $E_{v,min}$ - minimální svislá osvětlenost; $E_{sc,min}$ - minimální poloválcová osvětlenost.

Oblast pozemní komunikace, kde se použijí požadavky z tabulky mohou být jízdní pásy v obytných zónách, chodníky, cyklostezky. [19]

5.3 Metody měření

Metodami měření osvětlovacích soustav se zabývá evropská norma ČSN EN 13201-4: Osvětlení pozemních komunikací – Část 4: Metody měření, která stanovuje podmínky a požadavky pro měření fotometrických parametrů.

5.3.1 Měření osvětlenosti

Pro měření osvětlenosti se používá luxmetr s parametry, které musí odpovídat účelu měření. Při měření vodorovné a svislé osvětlenosti se využívá fotometrická hlava pro měření rovinné osvětlenosti.

Při měření je nutné, aby měřič a ostatní členové neclonili světlu, které dopadá na fotometrickou hlavu. Proto je vhodné pro měření využít měřicí přístroj, který je s fotometrickou hlavou propojen pomocí kabelu. Kabely musí být tak dlouhé, aby se měřiči mohli postavit tak, aby nezacláněli dopadajícímu světlu.



Obr 5.1: Digitální luxmetr – Radiolux111. [22]

Výška a orientace fotometrické hlavy

Fotometrická hlava se umísťuje přímo na zem, tam kde to není možné, je dovoleno hlavu umístit až do výšky 20 cm, což se musí zaznamenat do protokolu o měření.

Sít' kontrolních bodů

Sít' kontrolních bodů se volí tak, aby byly rovnoměrně rozloženy v měřicím poli. Jejich počet je dán vztahy.

a) podélný směr

$$D = \frac{S}{N} \quad (5.3)$$

kde D - rozteč mezi body (m); S - rozteč svítidel (m); N - počet kontrolních bodů nabývajících těchto hodnot:

- $S \leq 30$ m, $N = 10$
- $S > 30$ m, nejmenší číslo, které splňuje $D \leq 3$ m.

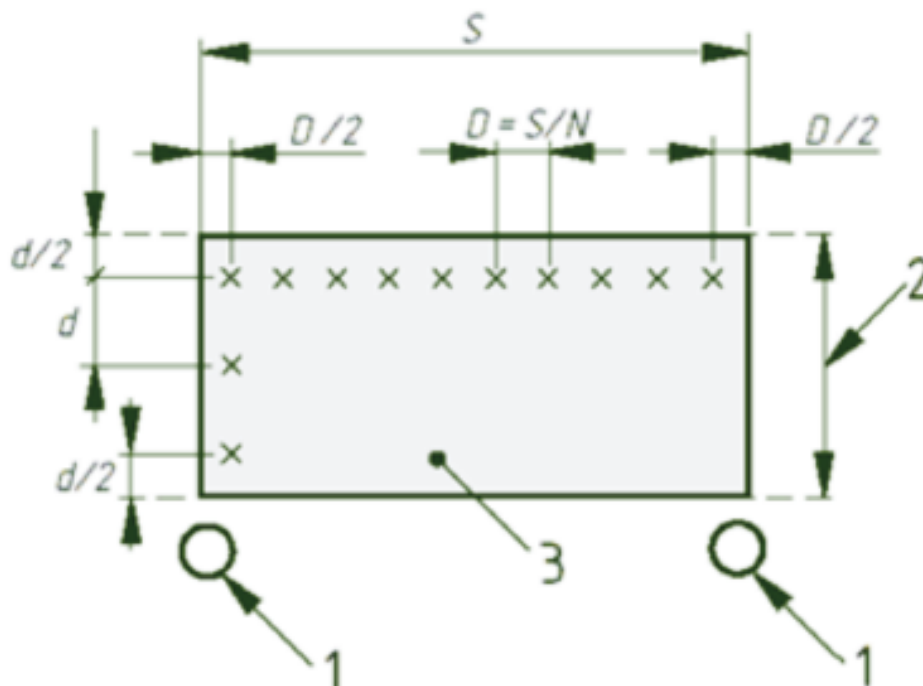
První řada bodů je umístěna ve vzdálenosti $D/2$ (m) za prvním svítidlem.

b) příčný směr

$$d = \frac{W_r}{n} \quad (5.4)$$

kde d - rozteč mezi body (m); W_r - šířka komunikace (m); n - počet bodů v příčném směru, jehož hodnota je větší nebo rovna 3 a je nejmenším číslem které dává $d \leq 1,5$ m.

Vzdálenost bodů od okrajů v oblasti je v podélném směru $D/2$, a v příčném $d/2$.



Obr 5.2: Kontrolní body v měřícím poli. [3]

kde 1 - svítidlo; 2 - šířka měřícího pole; 3 - měřící pole.

Pro správné změření osvětlenosti se musí fotometrická hlava s fotočlánkem důkladně umístit do každého ze sítě kontrolních bodů. [20]

5.3.2 Měření jasu

Pro měření jasu pozemní komunikace se musí používat kalibrovaný jasoměr, nebo jasový analyzátor s vlastnostmi, které odpovídají účelu měření.



Obr 5.3: Jasoměr – Minolta LS -110. [23]

Jasoměr musí být schopen při měření jasu v bodech omezit celkový úhel měřicího kužele na 2 obloukové minuty ve svislé rovině, a 20 obloukových minut v rovině vodorovné. Úhel pozorování měřicího přístroje musí být $89 \pm 0,5^\circ$ vůči povrchu komunikace.

Sít' kontrolních bodů

Kontrolní body musí být voleny tak, aby byly rovnoměrně rozloženy v měřicím poli. Volí se obdobně jako u měření osvětlenosti. Jsou dány vztahy:

- a) podélný směr

$$D = \frac{S}{N} \quad (5.5)$$

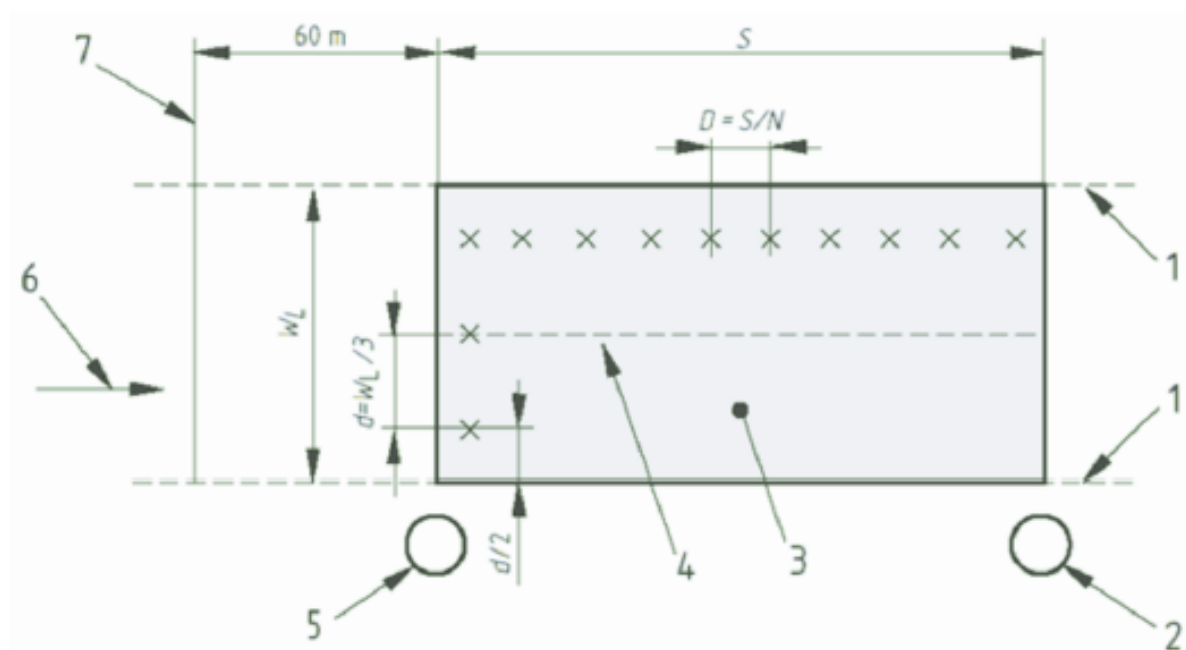
Kde D je rozteč mezi body v podélném směru (m); S je rozteč mezi svítidly (m); N je počet kontrolních bodů.

- b) příčný směr

$$d = \frac{W_L}{3} \quad (5.6)$$

Kde W_L - šířka jízdního pruhu (m); d - rozteč mezi body (m).

Vzdálenost bodů od okrajů jízdního pruhu je $d/2$ (m).



Obr 5.4: Kontrolní body v měřícím poli. [3]

kde 1 - okraj jízdního pruhu; 2 - poslední svítidlo v měřícím poli; 3 - měřící pole; 4 - osa jízdního pruhu; 5 - první svítidlo v měřícím poli; 6 - směr pozorování; 7 - poloha pozorovatele v podélném směru.

Kontrolní body se volí podobně jako u měření osvětlenosti. Při měření jasu musí být měřič s jasoměrem, nebo s jasovým analyzátozem vzdálen 60 m od měřicího pole, umístěn ve výšce 1,5 m nad úrovní komunikace. Přístroj se v příčném směru umísťuje doprostřed jízdního pruhu (měřeného úseku). [20]

6 Měření světelně-technických parametrů v souvislosti s odezvou kamerového systému

Měření regulace veřejného osvětlení v souvislosti s odezvou kamerového systému proběhlo za účelem zjištění odezvy kamerového systému na jednotlivě měnící se jasy a osvětlenosti, a ověření funkčnosti regulace osvětlovací soustavy. Jako měřená komunikace bylo zvoleno parkoviště na polygonu VŠB – TUO za budovou Fakulty elektrotechniky a informatiky. Námi měřený úsek se nachází uprostřed parkoviště, a je snímán dvěma kamerami. Měření bylo provedeno dne 27. 4. 2020, v čase od 21:00 h do 23:00 h. V průběhu měření byla jasná obloha bez mraků, okolí měřených prostor bylo bez přítomnosti mlhy či smogu. Měřený úsek komunikace polygonu byl suchý, a bez přítomnosti nečistot.



Obr 6.1: Zaznačení měřeného úseku, a kamer ho snímajících.



Obr 6.2: Měřený úsek z pohledu kamery č.1.

Použité přístroje:

Tab. 6.1: Tabulka použitých měřicích přístrojů

Přístroj	Typ	Výrobce
Digitální luxmetr	Radiolux 111	PRC Krochmann
Jasový analyzátor	LMK Mobile Advanced	LMK Mobile Advanced
Jasoměr	Minolta LS - 110	Konica Minolta

Postup měření:

Měření bylo prováděno v nočních hodinách, to proto aby se mohl vyloučit vliv denního světla. Svítidla na polygonu byla před měřením v provozu asi 15 minut na 100 % úrovni příkonu. Světelný tok mohl být tedy považován za stabilizovaný.

Před samotným měřením byl na komunikaci označen měřený úsek, tak jak lze vidět na obr 6.2. A byl zvolen jeden měřicí bod, pro měření osvětlenosti. Ten byl zvolen přibližně doprostřed měřeného úseku.

Pro měření osvětlenosti byl použit luxmetr Radiolux 111, pro měření jasů a jasové analýzy byly použity dva jasoměry Minolta LS – 110, a jasový analyzátor LMK Mobile Advanced. Jasoměry a jasové analyzátory byly umístěny do výšky 1,5 m nad zemí, ve vzdálenosti 60 m od prvního svítidla tak jak je to definováno v normě. Fotometrická hlava luxmetru byla umístěna do měřicího bodu ve výšce 0 m nad zemí.

Měření probíhalo tak, že se svítidla nastavily na 100 % úroveň příkonu a odečetly se jednotlivé hodnoty osvětlenosti, jasů a hodnota vybuzení kamery (odezva kamery). Z hodnot zaznamenaných jasovým analyzátozem se poté softwarově vyhodnotila jasová analýza pro danou úroveň. Poté se úroveň

příkonu svítidel snižovala, a pro každou úroveň se odečetly jednotlivé hodnoty, které byly zaznamenány do tabulky naměřených a vyhodnocených hodnot.

Svítidla a zdroje:

Tab. 6.2: Měřené svítidla a zdroje

Svítidlo	Světelný zdroj
Thorn R2L2	LED, Ra 70, T _c - 4 000 K

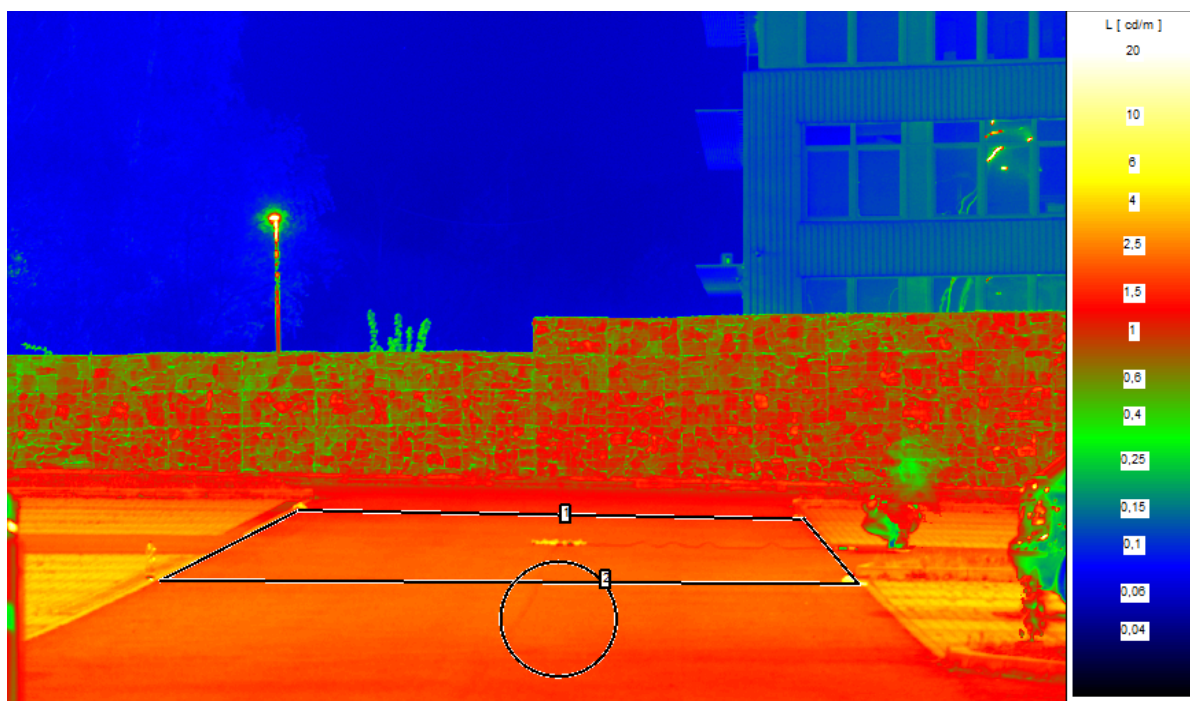
Naměřené a vyhodnocené hodnoty

Tab. 6.3: Tabulka naměřených a vyhodnocených hodnot

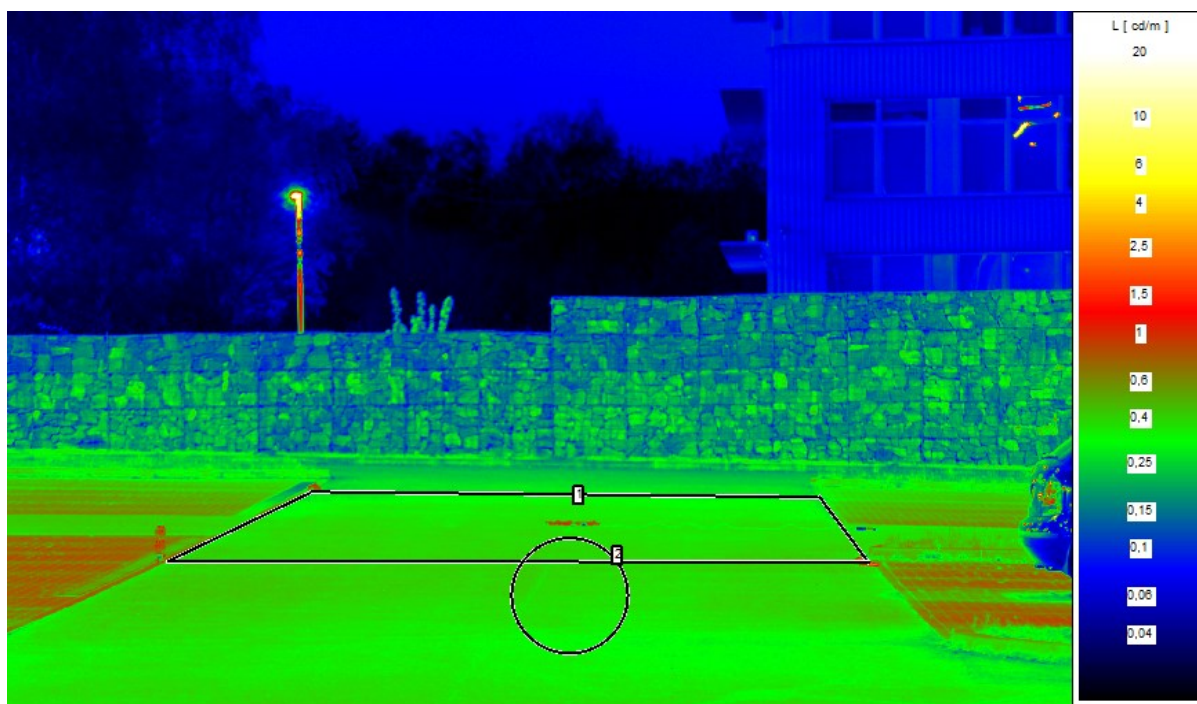
Svítidla	Luxmetr	Jasoměr Minolta LS 110	Jasový analyzátor LMK Advanced Mobile	Kamera č.2
Úroveň (%)	E (lx)	L (cd/m ²)	L (cd/m ²)	Výstup z kamery (-)
100 %	53,5	3,15	2,13	150,2
99 %	49,7	2,93	1,98	144,1
97 %	43,9	2,58	1,75	133,1
95 %	38,7	2,27	1,55	129,1
92 %	31,7	1,88	1,28	106,7
89 %	26,5	1,58	1,088	93,8
85 %	20	1,20	0,8274	77,3
80 %	14,7	0,89	0,6177	60,5
75 %	11	0,67	0,46	48,3
70 %	9,33	0,56	0,3861	43,8
60 %	9,33	0,56	0,3861	43,8
50 %	9,33	0,56	0,3861	43,8
40 %	9,33	0,56	0,3861	43,8
30 %	9,33	0,56	0,3861	43,8
20 %	9,33	0,56	0,3861	43,8
10 %	9,33	0,56	0,3861	43,8
5 %	9,33	0,56	0,3861	43,8
3 %	9,33	0,56	0,3861	43,8
1 %	9,33	0,56	0,3861	43,8
0 %	0	0,00	0	0

Jak je popsáno v postupu měření, byly použity pro měření jasu dva jasoměry Minolta LS – 110. Z tohoto důvodu se udělal z hodnot zaznamenaných těmito jasoměry aritmetický průměr, jehož hodnota je zapsána v tabulce 6.3. Z naměřených hodnot z tabulky lze vidět, že jakmile hodnota úrovně příkonu klesla pod 70 %, hodnoty měřených veličin zůstaly konstantní.

Jasová analýza měřeného úseku:



Obr 6.3: Snímek jasové analýzy měřeného úseku při 100 % úrovni příkonu svítidel.



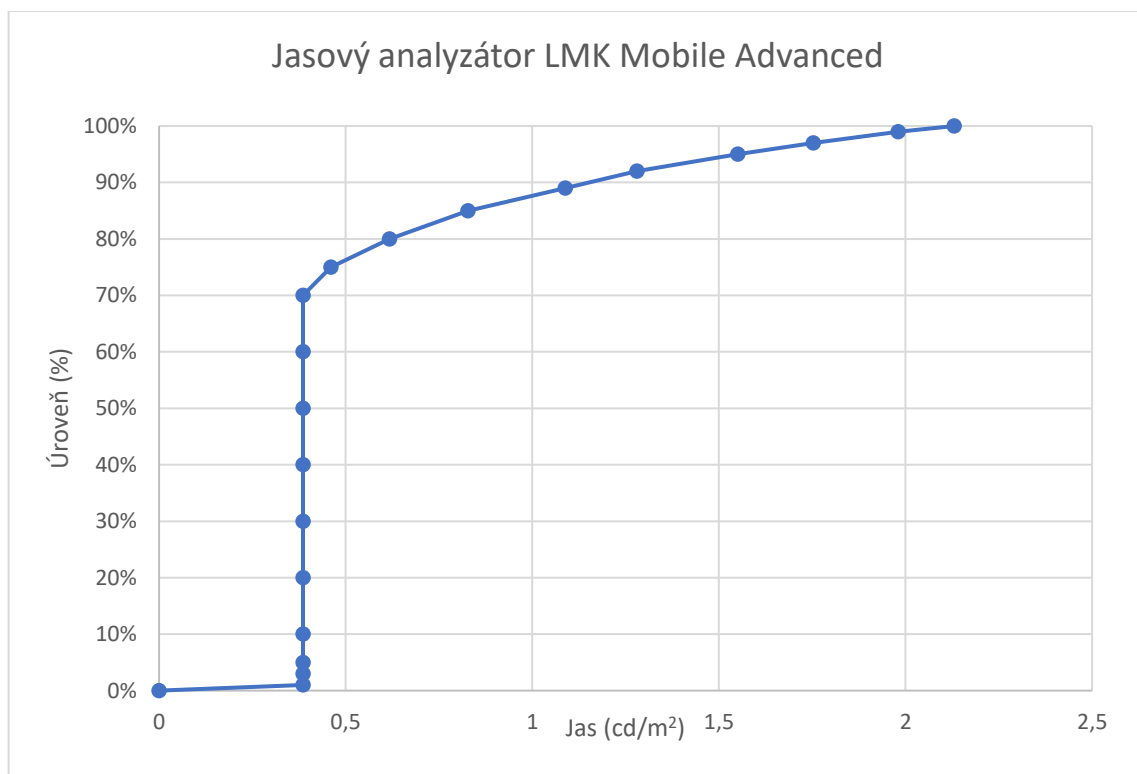
Obr 6.4: Snímek jasové analýzy měřeného úseku při 70 % úrovni příkonu svítidel.

Z dat nasnímaných jasovým analyzátozem LMK Mobile Advanced, se poté softwarově vyhodnotily snímky jasových analýz při jednotlivých úrovních příkonu svítidel. Z fotografií se získaly hodnoty jasu pro každý jednotlivý pixel fotografie, to umožnilo odečíst průměrný jas v měřeném úseku komunikace.

6.1 Vyhodnocení závislosti měřených veličin na úrovni příkonu

Tab. 6.4: Tabulka hodnot jasu dle jasové analýzy při dané úrovni příkonu svítidel.

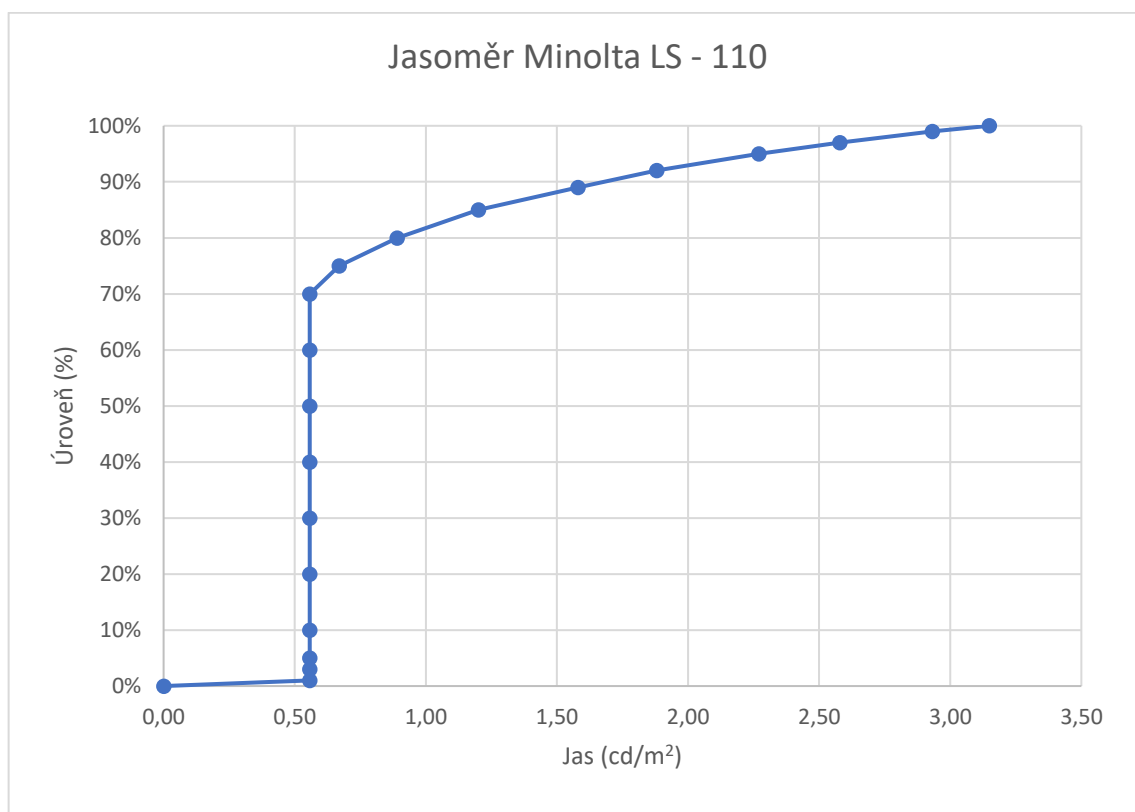
Svítidla	LMK Advanced Mobile
Úroveň (%)	Jas – L (cd/m ²)
100 %	2,13
99 %	1,98
97 %	1,75
95 %	1,55
92 %	1,28
89 %	1,088
85 %	0,8274
80 %	0,6177
75 %	0,46
70 %	0,3861
60 %	0,3861
50 %	0,3861
40 %	0,3861
30 %	0,3861
20 %	0,3861
10 %	0,3861
5 %	0,3861
3 %	0,3861
1 %	0,3861
0 %	0



Obr 6.5: Graf závislosti jasu na úrovni příkonu svítidel.

Tab. 6.5: Tabulka hodnot jasu dle jasoměru Minolta LS – 110 při dané úrovni příkonu svítidel.

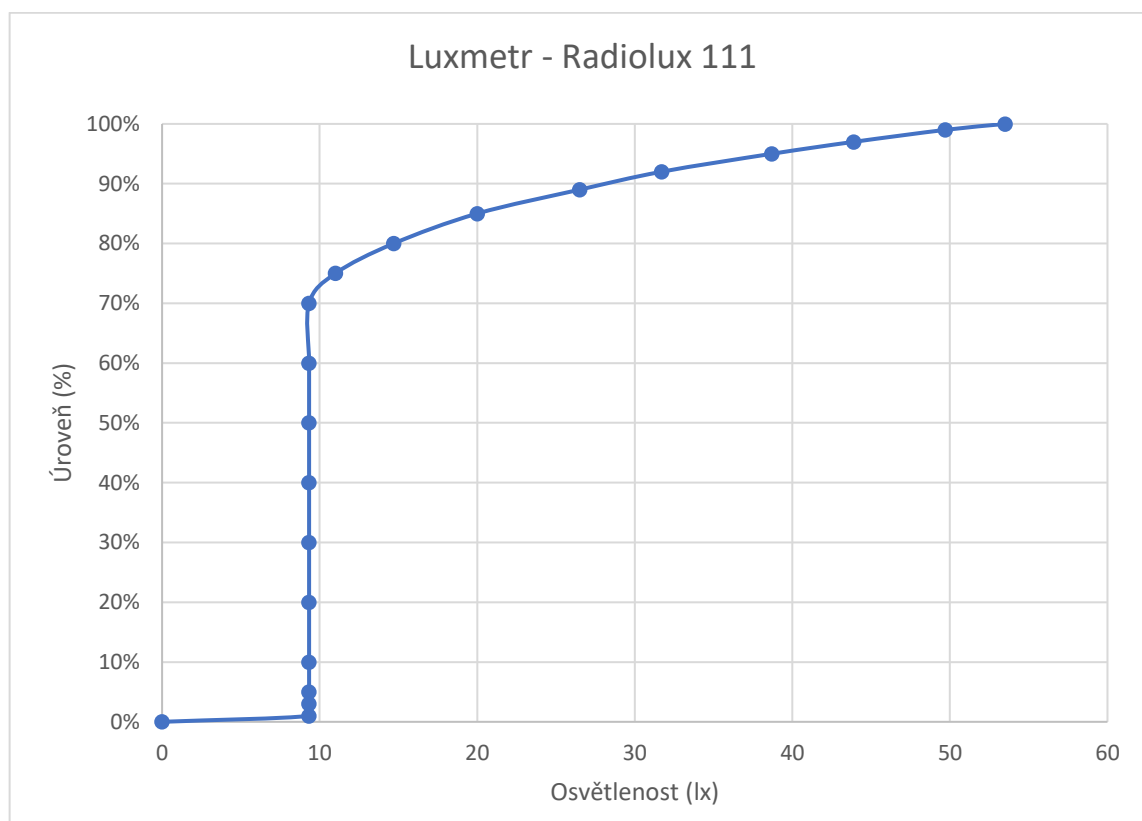
Svítidla	Minolta LS - 110
Úroveň (%)	Jas – L (cd/m ²)
100 %	3,15
99 %	2,93
97 %	2,58
95 %	2,27
92 %	1,88
89 %	1,58
85 %	1,20
80 %	0,89
75 %	0,67
70 %	0,56
60 %	0,56
50 %	0,56
40 %	0,56
30 %	0,56
20 %	0,56
10 %	0,56
5 %	0,56
3 %	0,56
1 %	0,56
0 %	0,00



Obr 6.6: Graf závislosti jasu na úrovni příkonu svítidel.

Tab. 6.6: Tabulka hodnot osvětlenosti dle Radiolux 111 při dané úrovni příkonu svítidel.

Svítidla	Luxmetr
Úroveň (%)	Osvětlenost - E (lx)
100 %	53,5
99 %	49,7
97 %	43,9
95 %	38,7
92 %	31,7
89 %	26,5
85 %	20
80 %	14,7
75 %	11
70 %	9,33
60 %	9,33
50 %	9,33
40 %	9,33
30 %	9,33
20 %	9,33
10 %	9,33
5 %	9,33
3 %	9,33
1 %	9,33
0 %	0



Obr 6.7: Graf závislosti osvětlenosti na úrovni příkonu svítidel.

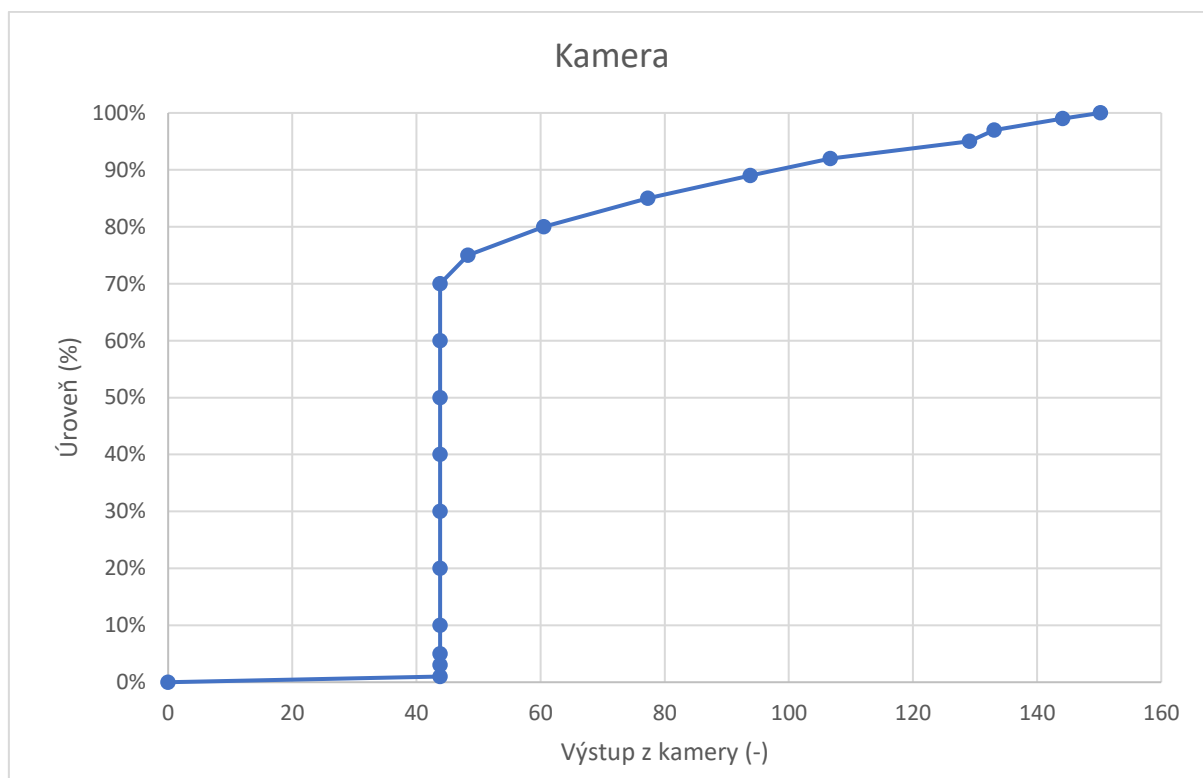


Obr 6.8: Oblast vyhodnocení vybuzení kamery č.2, označena číslem 1.

Hodnoty výstupu z kamery byly odečítány z kamery č.2, jejíž poloha je zaznačena na obr. 6.1.

Tab. 6.7: Tabulka hodnot vybuzení kamery v oblasti 1 při dané úrovni příkonu svítidel.

Svítidla	Kamera č.2
Úroveň (%)	Výstup z kamery (-)
100 %	150,2
99 %	144,1
97 %	133,1
95 %	129,1
92 %	106,7
89 %	93,8
85 %	77,3
80 %	60,5
75 %	48,3
70 %	43,8
60 %	43,8
50 %	43,8
40 %	43,8
30 %	43,8
20 %	43,8
10 %	43,8
5 %	43,8
3 %	43,8
1 %	43,8
0 %	0



Obr. 6.9: Graf závislosti výstupu z kamery na úrovni příkonu svítidel.

Podíváme-li se na tabulky naměřených a vyhodnocených hodnot jasů, osvětlenosti a hodnot odezvy kamerového systému, a na grafy v závislosti na úrovni příkonu z nichž vynesené, můžeme na jejich základě zhodnotit funkčnost softwarové regulace osvětlovací soustavy na polygonu.

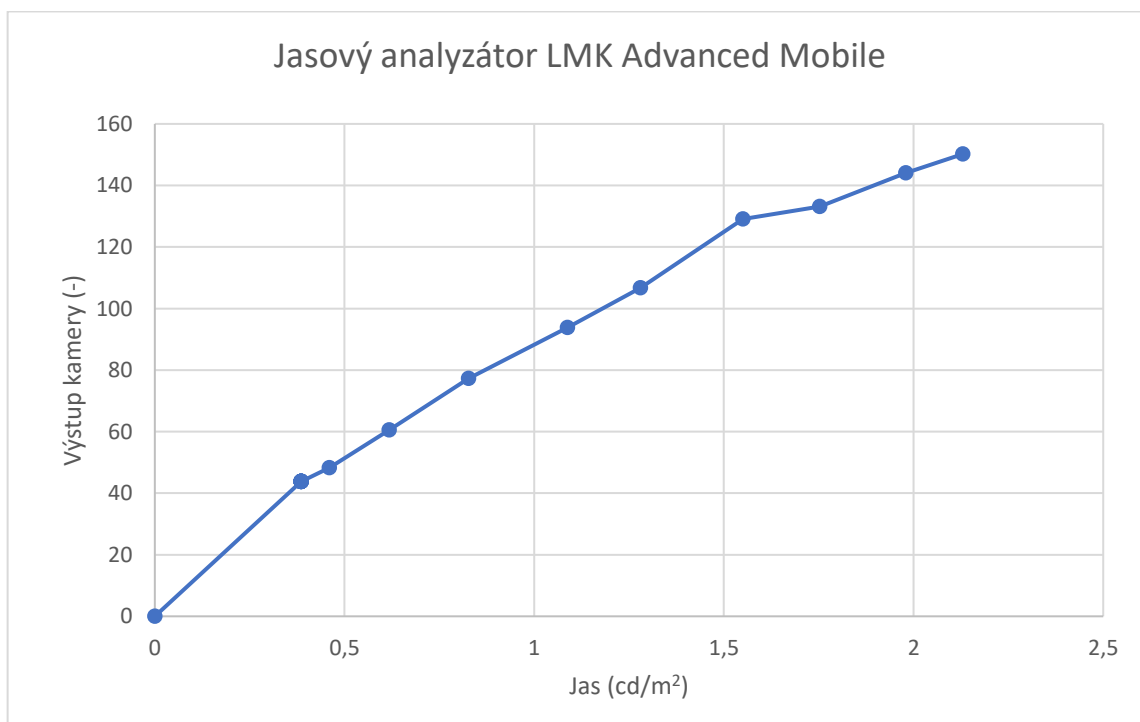
Z jednotlivých grafů lze vidět, že pokud se úroveň příkonu svítidel snižovala od 100 % křivka závislosti měřených veličin se snižovala relativně lineárně, a to až do doby kdy úroveň příkonu svítidel klesla do hodnoty přibližně 70 %. Od této hranice úrovně příkonu křivka pokračovala konstantně kolmo dolů, a to z důvodu, že měřené veličiny se už pro jednotlivé úrovně neměnily a zůstaly ustáleny na konstantní úrovni. Respektive světelný tok se už pod úrovní 70 % neměnil, a zůstával stejný pro každou úroveň příkonu. Neodpovídal tedy skutečné hodnotě, kterou měl mít při patřičných úrovních příkonu. Křivka zůstala konstantní až do doby, kdy úroveň příkonu klesla na hodnotu 0 %.

Na základě těchto jednotlivých grafů závislosti můžeme říci, že softwarová regulace DALI vzhledem k osvětlovací soustavě polygonu není plně využita. Softwarová regulace nefunguje zcela správně, jelikož jakmile se procentuální úroveň dostane pod 70 %, jas ani osvětlenost se na komunikaci nezmění. Z tohoto důvodu je proto nutné, aby na řízení osvětlovací soustavy polygonu VŠB-TUO byly provedeny jednotlivé úpravy, tak aby procentuální hodnota úrovně odpovídala skutečnému příkonu svítidel, a tedy i světelnému toku.

6.2 Vyhodnocení závislosti měřených veličin na odezvě kamerového systému

Tab. 6.8: Tabulka hodnot jasů dle jasové analýzy při daném vybuzení kamery.

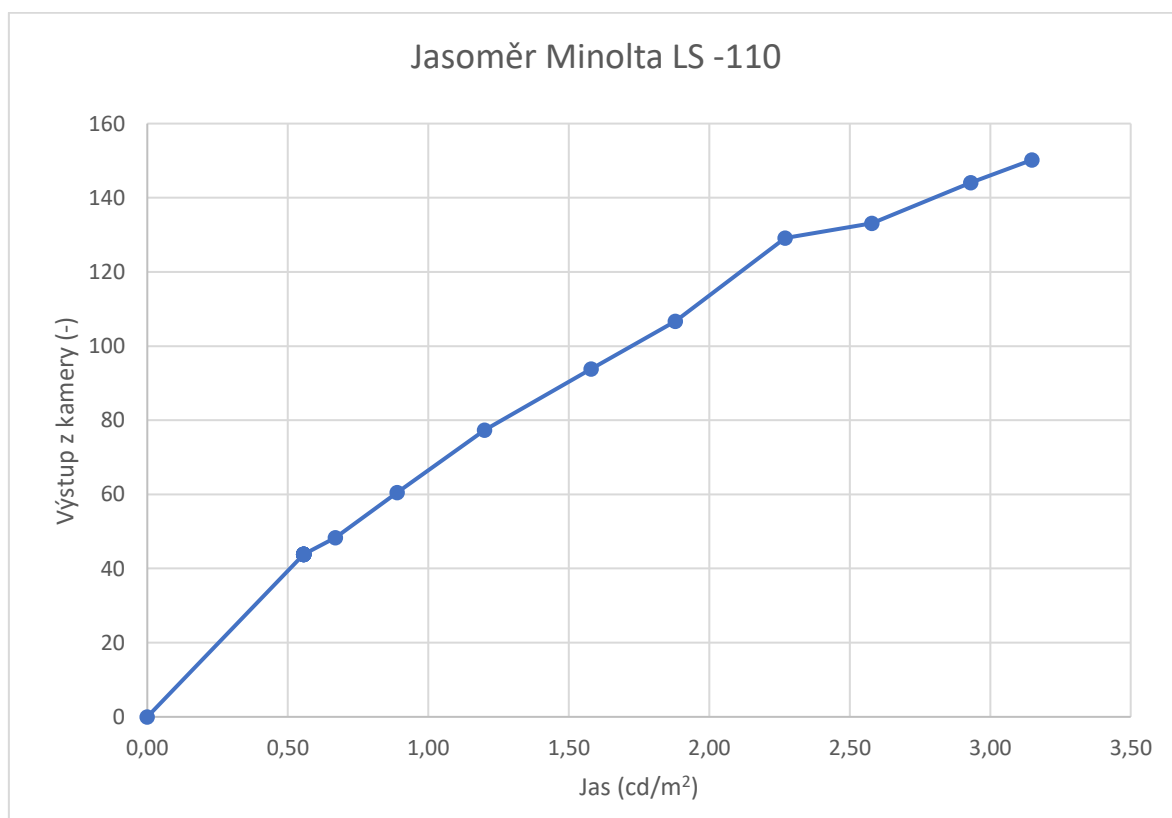
Kamera č.2	LMK Advanced Mobile
Výstup z kamery (-)	Jas – L (cd/m ²)
150,2	2,13
144,1	1,98
133,1	1,75
129,1	1,55
106,7	1,28
93,8	1,088
77,3	0,8274
60,5	0,6177
48,3	0,46
43,8	0,3861
43,8	0,3861
43,8	0,3861
43,8	0,3861
43,8	0,3861
43,8	0,3861
43,8	0,3861
43,8	0,3861
43,8	0,3861
43,8	0,3861
43,8	0,3861
43,8	0,3861
0	0



Obr 6.10: Graf závislosti jasů na odezvě kamerového systému

Tab. 6.9: Tabulka jasu dle jasoměru Minolta LS – 110 při daném vybuzení kamery

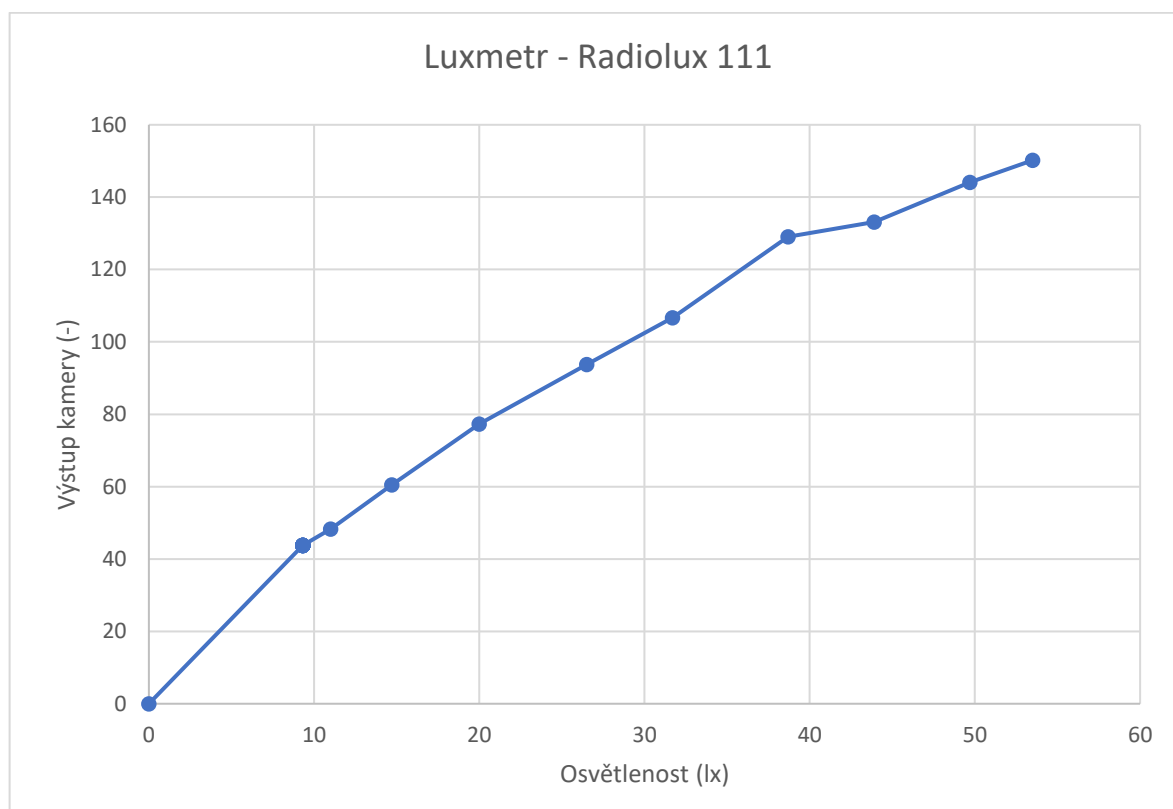
Kamera č.2	Minolta LS 110
Výstup z kamery (-)	Jas – L (cd/m ²)
150,2	3,15
144,1	2,93
133,1	2,58
129,1	2,27
106,7	1,88
93,8	1,58
77,3	1,20
60,5	0,89
48,3	0,67
43,8	0,56
43,8	0,56
43,8	0,56
43,8	0,56
43,8	0,56
43,8	0,56
43,8	0,56
43,8	0,56
43,8	0,56
43,8	0,56
43,8	0,56
43,8	0,56
43,8	0,56
0	0,00



Obr 6.11: Graf závislosti jasu na odezvě kamerového systému.

Tab. 6.10: Tabulka osvětlenosti dle Radiolux 111 při daném vybuzení kamery.

Kamera č.2	Luxmetr
Výstup z kamery (-)	Osvětlenost - E (lx)
150,2	53,5
144,1	49,7
133,1	43,9
129,1	38,7
106,7	31,7
93,8	26,5
77,3	20
60,5	14,7
48,3	11
43,8	9,33
43,8	9,33
43,8	9,33
43,8	9,33
43,8	9,33
43,8	9,33
43,8	9,33
43,8	9,33
43,8	9,33
43,8	9,33
43,8	9,33
43,8	9,33
0	0



Obr. 6.12: Graf závislosti osvětlenosti na odezvě kamerového systému.

Na základě tabulek naměřených, a vyhodnocených hodnot jasů a osvětleností v závislosti na odezvě kamerového systému, a jednotlivých grafů z nich vynesných, jsme schopni zhodnotit jednotlivé závislosti na odezvě kamerového systému.

Z grafů jednotlivých závislostí jasů a osvětleností na odezvě z kamerového systému můžeme vidět, že křivky daných závislostí jsou téměř lineární.

Na základě těchto jednotlivých grafů závislosti, které jsou téměř lineární můžeme konstatovat, že existuje určitá linearita mezi jasy a osvětleností na komunikaci, a odezvou kamerového systému. Z toho vyplývá, že lze poměrně dobře regulovat osvětlovací soustavu na určitou konstantní úroveň jasu (normou požadované jasy) pomocí výstupu z kamerového systému. Dle výstupu kamerového systému by bylo schopno udržet konstantní jas i při různých venkovních podmínkách komunikace (např. špinavý, či zasněžený povrch komunikace).

Závěr

Tato bakalářská práce je rozdělena do 6 kapitol. V prvních pěti kapitolách je řešena teoretická část práce. Poslední kapitola práce se zabývá měřením světelně technických parametrů na polygonu VŠB-TUO za budou Fakulty elektrotechniky a informatiky.

V první kapitole je stručně popsána podstata světla z fyzikálního hlediska, rozmezí vlnových délek, ve kterém se viditelné světlo nachází. Dále jsou zde popsány principy vzniku světla v současných světelných zdrojích, a příklady jednotlivých principů.

Druhá kapitola práce se soustředí na popis základních světelně-technických veličin ve světelné technice. Jsou zde popsány všechny důležité základní veličiny používané v osvětlovací technice, a veličiny z nich vycházející, které jsou poté zmiňovány v celé práci. Je zde zmíněn jejich matematický a fyzikální popis.

Ve třetí kapitole práce jsou podrobně popsány nejpoužívanější světelné zdroje v osvětlovacích soustavách veřejného osvětlení. Jednotlivé světelné zdroje jsou popsány podrobně, a jsou zmiňovány jejich vlastnosti, oblast využití v osvětlovacích soustavách, a klady a zápory jednotlivých zdrojů. V dnešní době jsou nejpoužívanějšími zdroji vysokotlaká sodíková výbojka a LED dioda. I když je vysokotlaká sodíková výbojka v poslední době vytlačována moderními LED diodami, její použití v osvětlovacích soustavách je stále vysoké, je to zejména díky její dobré úspoře elektrické energie, a vysokému měrnému výkonu (až $150 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$). Oba tyto zdroje dosahují dlouhé době živostnosti až 30 000 h. Nicméně díky stále rychlejšímu technickému pokroku a vývoji LED diod, bude využití vysokotlakých sodíkových výbojek klesat.

Čtvrtá kapitola pojednává o svítidlech veřejného osvětlení. Světelné zdroje by bez svítidel byly prakticky nevyužitelné. Jsou zde podrobně popsány jednotlivé parametry, a části svítidel. Mezi zmiňované parametry patří: světelný tok svítidel, křivky svítivosti na základě kterých, vybíráme jednotlivá svítidla pro dané uplatnění na komunikacích, jas svítidel, či účinnost. Dále jsou zde popsány třídy svítidel, a stupně krytí, elektrotechnické prvky, a konstrukční prvky. Nemálo důležité jsou světelné optické prvky, které jsou v této kapitole popsány, ty umožňují usměrnění světelného toku podle určitých požadavků.

Pátá kapitola je zaměřena na normativní požadavky osvětlovacích soustav veřejného osvětlení. Tyto normativní požadavky jsou popsány souborem evropských norem ČSN EN 13201, které vešly v platnost v roce 2016, a jsou rozděleny do pěti částí. V práci jsou popsány pouze 4 části z tohoto souboru norem. První část specifikuje parametry pro výběr třídy osvětlení, každý z těchto parametrů má určitou váhovou hodnotu, dle kterých se poté vypočte daná třída osvětlení. Možnost změny třídy komunikace může probíhat na základě změny hustoty provozu na komunikaci, typových rychlostí uživatelů apod. Druhá část souboru norem se zabývá požadavky jasů a osvětleností pro dané třídy. Třetí a čtvrtá část norem udává postupy pro návrh měřících polí s kontrolními body, a postupy měření parametrů komunikací.

Poslední šestá kapitola práce obsahuje informace o měření praktické části. Jak je zmíněno v samotné práci, měření probíhalo na testovacím polygonu Fakulty elektrotechniky a informatiky VŠB-TUO. Cílem tohoto měření bylo ověřit funkčnost regulace DALI osvětlovací soustavy, a zjistit odezvu kamerového systému polygonu na jednotlivě měnící se jasy a osvětlenosti. V této části je podrobně sepsán popis a umístění měřeného úseku, meteorologické podmínky při měření, čas kdy měření probíhalo, a stav povrchu komunikace v době měření. Dále jsou zde popsány měřící přístroje, pomocí kterých jsme měřili světelně technické parametry, měřená svítidla a světelné zdroje na polygonu. Podrobně je zde popsán postup měření, jak samotné měření probíhalo, a postup vyhodnocování měřených veličin.

Vyhodnocením jednotlivých závislostí jasů a osvětleností na úrovni regulace svítidel, jsme zjistili, že softwarová regulace DALI vzhledem k osvětlovací soustavě neuplatňuje svůj plný potenciál.

Na jednotlivých vynesných grafech lze vidět, pod 70 % úrovní příkonu se drží hodnoty jasů a osvětleností na konstantní úrovni. To znamená, že se neměnil světelný tok a zůstával stejný pro každou úroveň příkonu neodpovídal tedy skutečné hodnotě vůči maximální hodnotě. Výstupem tedy je, že regulace není plně využita a je nutné provést patřičné úpravy v řízení regulace vzhledem k osvětlovací soustavě polygonu.

Na základě vyhodnocení jednotlivých závislostí jasů a osvětlenosti na odezvě kamerového systému jsme zjistili, že osvětlovací soustava polygonu může být regulována na určité normou požadované konstantní úrovni jasů pomocí odezvy z kamerového systému. Toto může být konstatováno na základě grafů jednotlivých závislostí, protože křivky závislostí jsou relativně lineární. Výstupem tedy v konečné fázi může být, že pomocí výstupu kamerového systému můžeme regulovat soustavu na požadované úrovni jasů.

Použitá literatura

- [1] SOKANSKÝ, Karel. Světelná technika. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [2] HABEL, Jiří. Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [3] SOKANSKÝ, Karel. Světelná technika [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011 [cit. 2019-10-20]. ISBN 978-80-01-04941-9. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/dokument/CVUT-6-Svetelna.pdf>
- [4] PLCH, Jiří. Světelná technika v praxi. Praha: IN-EL, 1999. Elektro, sv. 15. ISBN 80-86230-09-0.
- [5] NOVÁK Tomáš, HELŠTÝNOVÁ Barbara, SOKANSKÝ Karel, MLČÁK Tomáš a Orság Petr. Projekce a konstrukce vyhrazených technických zařízení elektro II. Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3536-5.
- [6] Světloblog – Veřejné osvětlení. Světloblog [online]. [cit. 2019-11-03]. Dostupné z: <http://www.svetloblog.cz/index.php?svetlo=verejne-osvetleni>
- [7] OSRAM DULUX L 2G11 36W/840 úsporná žárovka | Lightpark. *Lightpark* [online]. Copyright © 2015 lightpark.cz [cit. 10.05.2020]. Dostupné z: <https://www.lightpark.cz/osram-zariv-kompakt-dulux-l-36w-840-2g11/>
- [8] SOKANSKÝ, K. a kolektiv: Dominantní vlivy ovlivňující spotřebu elektrické energie osvětlovacích soustav. Ostrava: Česká společnost pro osvětlování, 2007. Dostupné z: http://csorsostrava.cz/publikace/dominantni_vlivy_2007.pdf
- [9] SOKANSKÝ, K. a kolektiv: Metodické pokyny pro obnovu, provoz a údržbu veřejného osvětlení. Ostrava: Česká společnost pro osvětlování, 2008. Dostupné z: http://csorsostrava.cz/publikace/Metodicke_pokyny_pro_obnovu_provoz_a_udrzbu_veřejneho_osvetleni.pdf
- [10] SOKANSKÝ, K. a kolektiv: Potenciál energetických úspor veřejného osvětlení v ČR. Ostrava: Česká společnost pro osvětlování, 2007. Dostupné z: http://csorsostrava.cz/publikace/Potencial_energetickych_uspor_VO_v_CR.pdf
- [11] Deconstructing a flashlight | Deepak Kandepet. *Deepak Kandepet* | [online]. Dostupné z: <https://kandepet.com/deconstructing-a-flashlight/>
- [12] Does LED brightness change with voltage? - Electrical Engineering Stack Exchange. Electrical Engineering Stack Exchange [online]. [cit. 17.12.2019] Dostupné z: <https://electronics.stackexchange.com/questions/256336/does-led-brightness-change-with-voltage>
- [13] PAVELKA, Tomáš. Provozní vlastnosti LED a jejich modelování [online]. Brno, 2016 [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_veřejne.php?file_id=139843. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [14] LED. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/LED#Regulace_jasu_LED

- [15] Katalog svítidel standard a rozšířený standard [online]. Praha: Artechnic – Schröder, 2018. 48 s. Dostupné z: <http://www.ceha-kdc.cz/eshop/cat/25/25-10-803-05122.pdf>
- [16] Charles Endirect Ltd - CELtronic Electronic HID Street Lighting Ballast. Charles Endirect Ltd – Home [online]. Dostupné z: <http://www.charlesendirect.com/Products/Ballast/CELtronic-Electronic-HID-Street-Lighting-Ballast.aspx>
- [17] Čocky LED. *RS-Components* [online]. Warszawa, 2019 [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: <https://cz.rs-online.com/web/p/cocky-led/7106852/>
- [18] ČSN CEN/TR 13201-1. *Osvětlení pozemních komunikací - Část 1: Návod pro výběr tříd osvětlení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [19] ČSN EN 13201-2. *Osvětlení pozemních komunikací - Část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [20] ČSN EN 13201-4. *Osvětlení pozemních komunikací - Část 4: Metody měření*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [21] Veřejné osvětlení - ATHINA | EOCELL Investment s.r.o.. *Úvod | EOCELL Investment s.r.o.* [online]. Copyright © 2020 EOCELL Investment s.r.o. [cit. 24.02.2020]. Dostupné z: <http://www.eocell.eu/produkty/led-industrial/verejne-osvetleni-athina/>
- [22] Radiolux 111 – Luxmetry.cz. *Luxmetry.cz – obchod s luxmetry PRC Krochmann* [online]. Copyright © Copyright 2017 [cit. 09.03.2020]. Dostupné z: <https://luxmetry.cz/product/radiolux/>
- [23] LS-110 Luminance Meter - Konica Minolta Color, Light, and Display Measuring Instruments. *Konica Minolta Sensing - Color, Light and Display Measuring Instruments* [online]. Copyright © 2020 Konica Minolta Sensing Singapore Pte Ltd [cit. 09.03.2020]. Dostupné z: <https://sensing.konicaminolta.asia/product/discontinued-ls-110-luminance-meter/>
- [24] Co znamená u LED hodnota CRI?. *LED osvětlení - Velkoobchod, maloobchod - LEDme s. r. o.* [online]. Copyright © 2015 LEDme s. r. o. [cit. 28.04.2020]. Dostupné z: https://ledme.cz/textove-novinky/6_co-znamena-u-led-hodnota-cri.html
- [25] TESLAs HUB:Utilisation of Electrical Energy: Illumination. In: *TESLAs HUB* [online]. 2019 [cit. 2020-04-29]. Dostupné z: <https://www.teslashub.com/2019/07/8u12039u3.html>
- [26] Autobahn ATBS - Autobahn LED Cobra Head. *Acuity Brands | Lighting, Controls, and Building Management Solutions* [online]. Copyright © 2020 Acuity Brands Lighting, Inc. All rights reserved. [cit. 29.04.2020]. Dostupné z: <https://www.acuitybrands.com/products/detail/252703/american-electric-lighting/autobahn-atbs/autobahn-led-cobra-head>
- [27] 100watt / 1w High Power Led Chip. *Full Spectrum COB LED, Mirror COB Chip, High Reliability COB Chip Price* [online]. Copyright © Shenzhen Getian Opto [cit. 09.05.2020]. Dostupné z: <https://www.getiangroup.com/full-sepectrum-led/gt-cob1919-full-spectrum-cob-led-chip-10w-20w-25w.html>
- [28] SVĚTELNÉ ZDROJE A SVÍTIDLA PRO VEŘEJNÉ OSVĚTLENÍ V ROCE 2012. *MPO Efekt* [online]. 2012 [cit. 2020-03-09]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/2230-seven-svetelne-zdroje-a-svitidla.pdf>